

Monographien

über

angewandte Elektrochemie

unter Mitwirkung von

Dr. E. Abel, Privatdozent an der Technischen Hochschule, Wien — Dr. H. Alexander, Chemiker, Berlin. — H. Becker, Elektrochemiker, Paris — Anson G. Betts, Elektrometallurg, Troy, N.Y. — Geh. Regierungsrat Dr. W. Borchers, M. d. H., Professor an der Technischen Hochschule, Aachen. — J. Bronn, Chemiker, Rombach — Geheimer Regierungsrat Dr. A. Classen, Professor an der Technischen Hochschule, Aachen. — Sh. Cowper-Coles, Elektrochemiker, London — Dr. H. Danneel, Elektrochemiker, Berlin. — W. Ebert, Ingenieur der Siemens & Halske A.-G., Berlin — Dr. J. Ephraim, Chemiker und Patentanwalt, Berlin — Dr. G. Erlwein, Oberingenieur und Chefchemiker der Siemens & Halske A.-G., Berlin — Dr. P. Ferchland, Chemiker und Patentanwalt, Berlin — A. J. Fitz-Gerald, Niagara-Falls, New York. — Dr. Ing. F. E. Günther, Hütten-Ingenieur, Aachen. — Dr. F. Haber, Professor an der Technischen Hochschule, Karlsruhe. — Dr. O. Hoenigsmid, Prag — Dr. M. Huth, Chemiker der Siemens & Halske A. G., Berlin — J. B. C. Kershaw, F. I. C. Elektrochemiker, London — Dr. M. Le Blanc, Professor an der Universität Leipzig — Dr. R. Lorenz, Professor am eidgenössischen Polytechnikum, Zürich — Dr. R. Lucion, Direktor von Solvay & Co, Brüssel — Dr. Ing. O. v. Miller, Kgl. Baurat, München — A. Minet, Paris. — Dr. A. Miolati, Professor am Kgl. italienischen Gewerbemuseum, Turin. — A. Moser, Dozent an der Technischen Hochschule, Moskau — Dr. B. Neumann, Professor an der Techn. Hochschule, Darmstadt — Dr. K. Norden, Ingenieur, Berlin. — H. Nissenson, Direktor bei der Aktien-Gesellschaft zu Stolberg und in Westfalen, Stolberg — J. Nußbaum, Chemiker der Siemens & Halske A. G., Berlin. — Dr. W. Palmaer, Professor an der Technischen Hochschule, Stockholm — Dr. F. Peters, Professor an der Königl. Bergakademie, Berlin — Dr. W. Pfanhauser, Fabrikant, Leipzig — Dr. P. Rehländer, Elektrochemiker, Charlottenburg — Dr. J. W. Richards, Professor an der Lehigh-University, Bethlehem, Pa. — Dr. Roloff, Elektrochemiker, Hagen — Dr. Ing. M. Schlötter, Chemiker, Bernburg — Titus Ulke, Elektrometallurg und Hütteningenieur, New York — M. v. Uslar, Dipl. Hütteningenieur der Siemens & Halske A. G., Berlin

und anderer Fachgenossen

herausgegeben

von

Viktor Eng lhardt,

Oberingenieur und Chefchemiker der Siemens & Halske A. G., Berlin.
Direktor der Gesellschaft für Elektrostahlanlagen m. b. H., Berlin-Nonnendamm.

XXXIV. Band.

Halle a. S.

Druck und Verlag von Wilhelm Knapp.

1910.

Der Elektrische Ofen

im Dienste
der keramischen Gewerbe und der
Glas- und Quarzglaserzeugung

unter Berücksichtigung der neueren wichtigeren
Forschungen auf diesen Gebieten.

Von

J. ronn,

Ehem Betriebsleiter der Société Metallurgique de l'Aluminium,
Techn. Direktor der Ges. für Glaserzeugung auf elektr. Wege („Kryptol“-Ges),
Ingenieur bei Siemens & Halske, A.-G., und jetzt bei den Rombacher Hüttenwerken.

Mit 198 Abbildungen und 2 Tafeln



Halle a. S.
Druck und Verlag von Wilhelm Knapp.
1910.

1245

110004

V r t.

Es sind noch keine 20 Jahre vergangen, seitdem man mit den elektrischen Öfen zu experimentieren begann, und schon dürfte es selbst denen, die die ganze Entwicklung der neuen Erhitzungsart mitgemacht haben, kaum möglich sein, ein lückenloses Bild all der Errungenschaften, die auf den verschiedenen Gebieten der Technik mittels der elektrischen Öfen erzielt worden sind, zu entwerfen. Durch die Anwendung dieser Öfen erweiterte sich der für direkte Beobachtung zugängliche Temperaturbereich um mehr als das Doppelte. Nicht minder groß waren während dieser Zeit die Verbesserungen in der Messung hoher Temperaturen, so daß die technische Forschung gleich um zwei Hilfsmittel bereichert wurde, mit denen es erst möglich geworden ist, zuverlässige Bilder von dem Verhalten der verschiedenen feuerfesten und schwer schmelzbaren Stoffe bei hohen Temperaturen zu gewinnen.

Man sollte annehmen, daß die Industrie der feuerfesten Produkte, die doch allen zuvor für die tunlichste Vervollkommnung ihrer Erzeugnisse und Arbeitsprozesse zu sorgen hat, sich mit Eifer der neuen Hilfsmittel bedient, um ihre Rohstoffe und Fabrikate einer strengen Prüfung zu unterziehen und vor allem, um Verbesserungen in der Zusammensetzung der benutzten Massen systematisch anzustreben. Dies ist bis jetzt allerdings nur in sehr beschränktem Maße geschehen. Dort aber, wo man sich zu diesem Vorgehen entschlossen hat, hat man so reiche Erfolge geerntet — man sehe sich z. B. die Mitteilungen der Chemisch-Technischen Versuchsanstalt der Königl. Porzellanmanufaktur in Berlin für die letzten 4 bis 5 Jahre an —, daß für Zweifel an der Nützlichkeit und Brauchbarkeit der neuen Hilfsmittel für die keramischen Industrien kein Platz mehr bleibt.

Zu gleicher Zeit mit den elektrischen Versuchsofen kamen zahlreiche Verfahren auf, neue Rohstoffe für feuerfeste Produkte elektrisch zu gewinnen. Auch hier ist man über das erste Versuchsstadium längst hinweggekommen, und Karborund, geschmolzene Tonerde, geschmolzene Magnesia, geschmolzene Kieselsäure, sowie fertige Gegenstände aus diesen neuen Rohstoffen sind bereits kurante Handelsartikel geworden. Wenn nicht alle Anzeichen trügen, ist man hier noch im Beginne der Entwicklung, und die immer steigenden

Ansprüche seitens der Hauptverbraucher der feuerfesten Produkte in bezug auf die tunlichste Verdichtung (Verringerung der Porosität), Erhöhung der Unempfindlichkeit gegen Temperaturwechsel, bessere mechanische Festigkeit und größere Feuerbeständigkeit, werden die keramischen Industrien drängen, zur Verwendung der neuen, in den elektrischen Öfen „veredelten“ Rohstoffe überzugehen.

Die den elektrischen Öfen noch oft entgegengebrachte Scheu ist kaum begründet. Infolge der niedrigen Stromspannungen, die für elektrische Öfen in der Regel benutzt werden müssen, bieten die Anlagen nicht mehr Gefahren als z. B. die elektrische Beleuchtung und Elektromotoren; wie bei diesen, so sind auch beim Arbeiten mit elektrischen Öfen so gut wie gar keine elektrotechnischen Kenntnisse erforderlich. Im übrigen versuchte der Verfasser in der Einleitung, die bei der elektrischen Erhitzung sich abspielenden Vorgänge möglichst elementar zu schildern. Der darauf folgende erste Abschnitt bringt zunächst eine kurze allgemeine Übersicht über die Eigenschaften der Tone und eine etwas ausführlichere Würdigung der Segerkegel, die, ganz abgesehen von ihrer hervorragenden pyrometrischen Bedeutung für die Keramik, einen vorzüglichen Einblick in die Abhängigkeit der Feuerbeständigkeit von der chemischen Zusammensetzung gewähren. Eingehender werden dann die neueren, meistens in elektrischen Öfen ausgeführten Untersuchungen über die einzelnen Rohstoffe behandelt, da diese Rohstoffe vielfach zum Aufbau elektrischer Öfen verwendet und zugleich im elektrischen Ofen weiter verarbeitet („veredelt“) werden sollen.

Dem Abschnitt über elektrische Versuchsöfen, von denen nur solche Konstruktionen Aufnahme fanden, die zur Erzeugung von Temperaturen von über 1200° bestimmt sind, ist eine Schilderung der gebräuchlichsten pyrometrischen Methoden vorausgeschickt. Aus der sehr umfangreichen Patentliteratur über elektrische Öfen wurden hier nur diejenigen Patentschriften berücksichtigt, die sich ausdrücklich auf Öfen für keramische bzw. Glasschmelzzwecke beziehen. Bei der allgemeinen Übersicht über den Stand der Glastechnik wurde auch auf die neueren Arbeiten über die Eigenschaften des Glases Bezug genommen. Die Abschnitte über Quarzglas versuchte der Verfasser zu einer Monographie über diese „Glasart höherer Ordnung“ auszubilden, indem auch die älteren Arbeiten und neben den Herstellungsverfahren auch die Eigenschaften sowie die Anwendung des Quarzglases und seiner Abarten eingehend behandelt wurden.

Bei der Abfassung der vorliegenden Schrift fand der Verfasser bei den Redaktionen der beiden führenden Fachblätter: „Sprech-

saal“ (Zeitschrift für die keramischen, Glas- und verwandten Industrien, Koburg) und „Tonindustrie-Zeitung“ (Berlin), sowie bei der Mehrzahl der im Texte zitierten Zeitschriften weitgehendes Entgegenkommen. Nicht minder wertvoll war die Mithilfe seitens der großen Zahl der Autoren, Firmen und Patentinhaber, an die sich der Verfasser zur Erlangung von zuverlässigem und lückenlosem Material gewandt hat. Ihnen allen sei auch an dieser Stelle der verbindlichste Dank ausgesprochen.

Da der Verfasser hier nicht in seiner Muttersprache schrieb, so möchte er bei den geneigten Lesern um gutige Entschuldigung der wohl sicher vorhandenen sprachlichen Schätzer bitten

Als mit der Drucklegung der vorliegenden Schrift bereits begonnen wurde, ereignete sich ein höchst trauriges Geschehnis. Dr. Max Simonis erlitt bei der Besteigung des Monte Cinto auf Korsika einen tödlichen Unfall. Die großen Verdienste des Verbliebenen gerade auf dem Gebiete der neueren keramischen Forschung durften es vielleicht rechtfertigen, daß hier einige kurze Mitteilungen über seinen leider viel zu kurzen Lebenslauf gebracht werden.

Zu St. Johann a. d. Saar 1882 geboren, besuchte Simonis von Ostern 1891 bis Ostern 1900 das Gymnasium zu Saarbrücken. Er sollte dann die Laufbahn eines katholischen Geistlichen einschlagen. Dies behagte ihm nicht, er erklärte seinen Austritt aus der Kirche und studierte Chemie in Genf und in Freiburg i. Br. bei Professor Gattermann. Nach seiner Militärdienstzeit war er bei Professor Willgerodt in Freiburg i. Br. Vorlesungsassistent und promovierte dort 1904 mit der Arbeit: „Zur Kenntnis ortho-substituierter Jodverbindungen mit mehrwertigem Jod.“ Im Herbst desselben Jahres trat er in die Chemisch-Technische Versuchsanstalt bei der Königl. Porzellanmanufaktur in Berlin als Assistent bei Professor H. Marquardt ein. Gerade zu dieser Zeit richtete dort der Verfasser seine elektrischen Kohlengrieß- (sogen. „Kryptol“-) Öfen ein und machte während eines mehrmonatigen Zusammenarbeitens den Verstorbenen mit den Vorzügen und Tücken dieser Heizart bekannt. Die Zahl und die Wichtigkeit der experimentellen Untersuchungen auf den verschiedenen Gebieten der Keramik und Schlackenforschung, die Simonis während seiner nicht ganz vierjährigen Wirksamkeit in der Versuchsanstalt unter Leitung von Professor Marquardt ausführte und teils allein, teils in Gemeinschaft mit Dr. Rieke unter den „Mitteilungen der Chemisch-Technischen Versuchsanstalt bei der Königl. Porzellanmanufaktur“ veröffentlichte, ist geradezu verbluffend.

Da die meisten dieser Arbeiten in dieser Schrift eingehend behandelt werden und im Autorenregister zusammengestellt sind, so kann von einer Aufzählung derselben hier abgesehen werden.

Die Arbeiten des Verstorbenen haben weit über die Grenzen Deutschlands Beachtung gefunden; wurde doch dem 26jährigen Simonis die durch Abgang von Professor Bleiningen frei gewordene Professur an der Universität in Illinois angeboten, die er allerdings abgelehnt hat. Zur Kennzeichnung der Charaktereigenschaften des trefflichen Mannes sei gestattet, hier einige Zeilen aus einem Briefe von Professor Marquardt an den Verfasser wiederzugeben:

„. . . . Simonis ist nicht mehr! In voller Lebensfrische, von Gesundheit und Tatkraft geradezu strotzend, ist dieser vielversprechende junge Forscher plötzlich aus dem Leben geschieden. Welch schmerzlicher Verlust er für die Versuchsanstalt, die Porzellanmanufaktur und die Industrie war, und wie er mich persönlich betroffen, werden Sie noch eher begreifen als alle anderen. Es hatte sich zwischen uns trotz des Altersunterschiedes, wie mir zum Bewußtsein gekommen ist, ein Freundschaftsverhältnis herausgebildet, das sich auf seinem geraden Wesen und seiner zuweilen geradezu rücksichtslosen Ehrlichkeit aufbaute. Ich habe ihm ja zuweilen entgegengetreten müssen, böse konnte ich ihm aber nicht sein, denn er sah das Verkehrte bald ein und handelte dann voll und ganz verständlich. Nun ist alles aus“

Die Erfolge, die der „Organiker“ Simonis einem so ausgesprochen anorganischen und angeblich so uninteressanten Gebiete, wie der Keramik, abzurufen verstanden hat, mögen den Jüngeren zum Ansporn dienen, die so zahlreichen und überaus wichtigen keramischen Probleme in Angriff zu nehmen. Man habe keine Scheu davor, auch wenn man nicht im Besitze von Spezialkenntnissen ist. Wer ordentlich chemisch arbeiten und chemisch denken gelernt hat, der findet sich schnell hinein, wenn er nur, wie es in dem erwähnten Briefe über Simonis heißt, „ernstes wissenschaftliches Streben hat und bei der Sache bleibt“.

Rombach i. Lothr., November 1909.

J. r .

I n h a l t

	Seite
Vorwort	V
Erhitzung durch Elektrizität (Einleitung)	I
<p>Leiter und Nichtleiter 1. Abhängigkeit der Erwärmung von Leitfähigkeit und Querschnitt 1. Stromstärke bei unveränderlicher Spannung 2. Stromstärke bei veränderlicher Spannung 3. Wahl elektrischer Apparate in Hinsicht auf verfügbare Spannung 4. Regulierung der Leistung elektrischer Apparate 5. Gebrauch von Vorschaltwiderständen 6. Wirkungsweise der Vorschaltwiderstände 9.</p> <p>Messung der elektrischen Arbeit 11. Heizwert einer Kilowattstunde 11. Wärmeverluste bei Brennstoffen und gute Ausnutzung der Stromwärme 12. Kostenvergleich für die auf verschiedene Weise gewonnene Wärme 13.</p> <p>Schmelzpunkte der Metalle 14. Elektrisch leitende und nichtleitende Kohle 14. Leitfähigkeit erhitzter Körper 15. Lichtbogen und Flambogen 16. Temperatur im Lichtbogen 16. Flambogenheizung 17. Heizung durch Induktion 18. Indirekte Umwandlung der Elektrizität in Wärme 18.</p>	
I. Über einige Eigentümlichkeiten der Tone	20
<p>Unterschied zwischen Glaswaren und keramischen Erzeugnissen 19. Plastizität der Tone 19. Verhalten der Tone im Feuer 22. Verarbeitung der Tonmassen 22. Einteilung der keramischen Erzeugnisse 23. Wirtschaftliche und technische Bedeutung des Porzellans 24.</p> <p>Wichtigkeit der Messung hoher Temperaturen 25. Segers Normalkegel 26. Zusammensetzung der Segerkegel 28. Schmelzpunkt des Platins 32. Nachprüfung der Normalkegel 33. Beziehungen zwischen Feuerfestigkeit und Zusammensetzung 34. Tonerde und Kieselsäure 36. Kalk und Kieselsäure 37. Kaolin und Kalk 40. Wirkung der Titansäure 41. Kaolin und Chromit 41. Kalk-Tonerde-Kieselsäure 41. Schmelzpunkte einiger Tone und anderer Materialien; Flüchtigkeit feuerfester Oxyde 48. Einfluß des wiederholten Erhitzens 49.</p> <p>Anhang. Wärmeleitungsvermögen keramischer Produkte 49. Elektrische Eigenschaften des Porzellans 51. Elektrolyse des Porzellans 55.</p>	
II. Vorrichtungen zur Erzeugung und Messung hoher Temperaturen	57
<p>Ältere Öfen: Gasofen 57. Devillescher Gebläseofen 57.</p>	

Messung hoher Temperaturen und die Pyrometer von: Le Chatelier 60; Féry 61; Mesuré und Nouel 61; Wanner 62; Holborn und Kurlbaum 63.

Elektrische Ofen 66 Marquardtsche Masse 66 Ofen von Heraeus mit Draht- und Folienbewicklung aus Platin 67. Widerstandsofen aus Kohlenstäben von Hempel 70 Lichtbogenofen von Hempel 71. Iridiumofen von Nernst und Heraeus 73 Iridiumofen zur Messung der Druckfestigkeitsveränderungen von Schamotte-waren 76. Einige Heizvorrichtungen aus dem Geophysikalischen Laboratorium in Washington 76.

Kohlengrießöfen von Bronn 79. Arbeitsweise mit Kohlengrieß-öfen 80. Kohlengrießöfen in der Chem.-Techn. Versuchsanstalt der Kgl. Porzellanmanufaktur in Berlin 87; bei Professor Mathesius 97; bei Professor Borchers 98; im Tonindustrie-Laboratorium 99. Lichtbogenofen von Simonis 100. Ofen von Borchers (Schutz des Tiegels gegen Stromwirkungen) 102 Kohlengrieß-Zirkonofen von Simonis 103 Ofen von Bolle & Co. 105. Kohlenrohröfen 106.

Ofen von Nernst und Glaser (Metalloxyde als Heizwiderstand) 107. Ofen von Nernst und Harker 108. Schlußbetrachtungen über elektrische Versuchsofen 109

III Aufbereitung von Rohmaterialien und Brennen von Ton-waren im elektrischen Ofen 111

Kalzinierofen von Crompton und Dowsing 111 Kalk-, Zement- und Gipsofen nach Clerc und Koechlin 112 Kalkofen von Le Roy 114 Zementofen von Carrère 115. Kalzinierofen von Fahrney 116.

Brennöfen von Poschinger 116; Mitchel 116; Bronn 119; Meiser 123; Roberts 124; Hadaway 125. Davis 126.

IV Künstliche Magerungs- und Versatzmittel basischen Charakters und Verarbeitung derselben 127

Zur Wahl des Schamottematerials beim Ofenbau 127. Neuere Bestrebungen in der Schamotteindustrie 129. Natürliche und künstliche Magerungsmittel 130. Saure und basische Magerungsmittel 131.

Bauxit und Tonerde 131 Schmelzen von Bauxit nach Gintl 133. Ofen von Haßlacher 136 Bauxitofen von Mills 137. Tonerdegewinnung nach Hall 138; Alundum 139; Electrit 140. Verwendung von Korund in der Keramik 141. Verarbeitung und Bindung des Korundes 145. Zusammengesetzte korundhaltige Versatzmittel 146 Ausfütterung aus Korund 147. Einfluß des Korundzusatzes auf Porzellanmassen 148. Diamantin 149. Dynamidon 151.

Geschmolzener Magnesit 151 Tonerde-Magnesiamasse von Heinecke 152. Magnesia-Quarzmassen 153. Geschmolzene Magnesia 154 Eigenschaften derselben 155.

Geschmolzenes Eisenoxyd 157. Seltene Erden 157. Zirkon-gefäße 158. Ofen von Steinmetz 159.

V. Saure oder säurebildende Magerungs- und Versatzmittel und deren Verarbeitung 161

Graphit 161.

Quarz 161.

	Siliziumkarbid und Karborund 163. Herstellung von Karborund von Acheson 164. Franzosisches Karborund 169. Herstellung von Karborund und Tonerde nach Weber 169. Gewinnung von Karborund und Zink nach Dorsemagen 170. Verarbeitung von Karborund zu keramischen Massen 170. Verfahren von Acheson 170; von Engels 171; von Muller & Cie. 171. Webers Gießverfahren 175 Silund von Bölling 175. Karborundwiderstände von Gardner 177. Borkarbid nach Tucker und Bliß 177. Karbosilizium von Potter 177; von Gebr. Siemens & Co. 177.	
	Siloxikon von Acheson 178. „Weißmasse“ 180. Verarbeitung derselben nach Tone, Gaster, Seaboldt 180; nach Hallings 181. Monox von Potter 181.	
	Schlußfolgerungen über die Verarbeitung der neuen Produkte des elektrischen Ofens 181. Erfahrungen der Chem.-Techn. Versuchsanstalt bei der Kgl. Porzellanmanufaktur 182. Ansichten von K. Scott 183.	
VI.	Glasierte und geschmolzene hochfeuerfeste Erzeugnisse	185
	Elektrisches Glasiervverfahren von Askenasy 185; von Engels 186; Vorrichtung von Raddatz 186; Verfahren von Frölich 187.	
	Gegenstände aus geschmolzenen keramischen Massen 187. Verfahren von Jacobs 188; der Thermit-Gesellschaft 189; der Deutschen Gold- und Silberscheideanstalt 190; Verfahren von Ruhstrat 191; von E. Thomson 192; von Hart und von Askenasy 193.	
	Elektroden aus geschmolzenem Eisenoxyd von Specketer 194.	
VII.	Glas. Allgemeine Übersicht	196
	Schmelzen im Hafenofen 196 Wannenofen 197. Spiegelglasofen 198. Glashäfen 199. Verarbeitung der flüssigen Glasmasse 199.	
	Die chemische Natur des Glases 200. Chemische Vorgänge beim Schmelzen des Glassatzes 201. Empirismus in der Glasindustrie 203.	
	Optisches Glas 204. Abbes Anregungen 205. Abbes und Schotts Versuche 205. Mannigfaltigkeit der optischen Glasarten 206. Kritische Temperatur bei der Kühlung des Glases 207.	
	Beziehungen zwischen der chemischen Zusammensetzung und den physikalischen Eigenschaften des Glases 208. Härte des Glases 211. Für Wärmestrahlen undurchlässiges Glas 211. Elektrisch leitendes Glas 212. Hygroskopizität des Glases 212. Uviolglas 214 Euphosglas 214 Für aktinisches Licht undurchlässiges Glas 215.	
	Klassifikation und Prüfung der Gläser 216. Gasdurchlässigkeit des Glases 217. Weißes Glas und die Entfärbungsmittel 217. Manganhaltiges Glas 218. Veränderlichkeit der Glasfärbung 219. Überfangglas 220.	
VIII.	Versuche zur Herstellung von Glas in elektrischen Öfen	222
	Verfahren von Reich & Co. 222 Schmelzöfen von Becker 223; von Lühne 224; von Voelker 226. Versuchsofen in Plettenberg 228. Versuchslaboratorium der Gesellschaft Becker & Co. in Köln 228. Verhalten des Glassatzes im Lichtbogenofen 231. Entstehung	

von „Lichtbrücken“ 234. Einfluß der Schaltungsart 235; des Elektromagneten 237. Brikettierung des Glassatzes 237. Größere Schmelzanlage mit Lichtbogenöfen 238.

Erhitzen von Schmelztiegeln durch Kohlenstäbe 241. Ausbildung des Kohlengrieß- (Kryptol-) Verfahrens 242. Kohlengrießheizung für Glashafen 244. Regulierwiderstand mit Kohlengrieß 245. Schwierigkeiten mit dem Hafenmaterial 246.

Glasschmelzöfen von Shade 247; Benjamin 249; Becker 250; Franklin 251; Sauvageon 252; Birkeland und Eyde 253. Tiegelöfen von Gabreau 257; Girod 258. Schmelzen von Emailflüssen nach Eddy 258.

Erwärmung des Glases durch Elektrizität während der Bearbeitung 259. Warmhalten beim Auswalzen der Glasmasse 259; beim Polieren (Niles und Ford) 259; Überhitzen der Glasmasse nach Keßmeier 259; Zusammenlöten von Glasplatten 259; Absprengen von Glaswalzen 160.

Elektrizität als indirekte Wärmequelle 261. Glasschmelzöfen für Knallgasfeuerung 263. Zusammenlöten von Glasplatten mittels Knallgas 264.

IX. Quarzglas (Geschichte, Herstellung und Eigenschaften) 266

Versuche von Gaudin 267; Gautier 268. Quarzfäden von Boys 268. Arbeitsweise von Dufour 269. Wärmeausdehnung des Quarzglases nach Le Chatelier 270.

„Verglaster Quarz“ von Shenstone 271. Eigenschaften des Glases von Shenstone 275; Lichtdurchlässigkeit 275; optische Homogenität 276; Unempfindlichkeit gegen Temperaturwechsel 277. Quarzglas in der Thermometrie 279.

Versuche, Sand zu schmelzen, von Bronn 280; von Hutton 281.

Quarzglas von Heraeus 283; das Niederschmelzen 284; Formgebung 285; Empfindlichkeit gegen Metalloxyde 285. Sonstiges Verhalten 287. Wärmeausdehnung des Quarzglases von Heraeus 289.

Quarzglasschmelzerei in Zeiß-Abbe-Schottischen Werken 299. Arbeitsweise von Herschkowitsch 290. Entglasung des Quarzglases 291. Physikalische Konstanten des Quarzglases aus Jena und von Heraeus 292.

Schmelztemperatur der Kieselsäure 294. Beziehungen zwischen Quarz, Quarzglas und Tridymit 295. Quarzglas von Day und Shepherd 296.

X. Patentliteratur über Herstellung und Verarbeitung von Quarzglas 299

Heraeus, Schmelzen von Quarz 299. Schmelzöfen von Vogel 300. Küch und Heraeus, Herstellung von Quarzglasgefäßen 300; Thermometerkugeln 302.

Verfahren von Bredel, Sand und Quarz zu schmelzen 302.

Brennspiegelöfen von Mehner 304. Sandglas von Thermal Syndicate Ltd. (Verfahren von Bottomley, Hutton und Paget) 305. Sandglas von Bolle & Co. bzw. der Deutschen Quarzgesellschaft 311. Metalleinfassungen für Quarzglas von Bottomley und Paget 312.

	Seite
XI. Einige bei Verwendung von Quarzglas gewonnene Ergebnisse	313
Verhalten von Quarzglasgefäßen beim chemischen Gebrauch	
313. Gasdurchlässigkeit des Quarzglases 316. Quarzglas- und Sandglasrohre 316. Quarzglas in der Thermo- und Pyrometrie 317. Vakuumrohre aus Quarzglas 318. Beeinflussung der Reaktionsgeschwindigkeit 318.	
Vakuumquecksilberlampen von Arons und von Hewitt 320. Innentemperatur und Lichtausbeute der Lampe 321. Versuche mit Quarzquecksilberlampen 323. Quarzlampe für wissenschaftliche Zwecke 326. Quarzlampe für Beleuchtungszwecke 327. Anwendung der Quarzlampe in der Heilkunde 329; für chemische Zwecke 330. Beleuchtung durch Quarzquecksilberlampen 330. Quarzamalgalampen 331.	
Nachträge	335
Patentregister	344
Autorenregister	346
Sachregister	355

rhit d rch l ktri it".t.

Bei der hier zu behandelnden Anwendung der Elektrizität für Heiz- und Erhitzungszwecke kommt als Elektrizitätsquelle lediglich die Dynamomaschine in Betracht. Ob diese nun durch Dampf, brennbare Gase, Wasser oder Wind angetrieben wird, ist für die Heizwirkung des elektrischen Stromes ohne Belang.

Wie bei jeglicher Art von Reibung Wärme erzeugt wird, so wird auch jeder Gegenstand mehr oder weniger erwärmt, sobald elektrischer Strom durch ihn durchgeschickt wird. Es gibt jedoch sehr viele Materialien, durch die man den elektrischen Strom in merklichen Mengen nicht durchschicken kann. Man nennt sie „Nichtleiter“ oder Isolatoren. Die verschiedenen Erden, Gesteinsarten, mineralische, tierische und vegetabilische Fette und Öle, getrocknete Pflanzen (mithin Textilstoffe und Hölzer) sowie Glas- und Tonwaren sind Nichtleiter. Auch Salze, solange sie trocken sind, leiten den elektrischen Strom nicht. Dagegen leiten wässrige Salzlösungen die Elektrizität gut, und manche von den aufgezählten Nichtleitern werden leitend, nachdem sie mit Wasser gut durchtränkt worden sind, z. B. feuchte Erde, nasse Textilstoffe usw.

Leiter und
Nichtleiter.

Sämtliche Metalle und Legierungen leiten dagegen den elektrischen Strom gut, wenn auch nicht alle in gleichem Maße. Um festzustellen, wie die elektrische Leitfähigkeit zweier Metalle sich zueinander verhält, braucht man nur gleich starke und mit je einem Ende aneinander angelötete Drähte aus den einzelnen Metallen mit ihren freien Enden an eine geeignete Stromquelle anzuschließen. Der Draht aus dem weniger gut leitenden Metall wird dabei viel heißer als der aus dem besser leitenden Metall. Auf diesem Verhalten verschiedener Metalle dem elektrischen Strome gegenüber beruht auch die bekannte Versuchsanordnung mit einer Kette, deren einzelne Glieder abwechselnd aus dünnem Silberdraht und gleich dünnem Platindraht bestehen. Schickt man durch eine solche Kette den elektrischen Strom von geeigneter Stärke durch, so behalten die Glieder aus Silberdraht ihre gewöhnliche Farbe, wogegen die

Abhängigkeit
der Erwärmung
von der Leit-
fähigkeit und
Querschnitt.

Platinglieder rotglühend werden. Wollte man auch die silbernen Kettenglieder zum Glühen bringen, so müßte ein viel stärkerer Strom durch die Kette durchgeschickt werden, bei dem jedoch die Platin-drähte sofort durchschmelzen würden, trotzdem Platin erst gegen 1700° und Silber schon bei 1000° schmilzt.

Durch besondere Versuche konnte festgestellt werden, daß Silber bei gleichem Querschnitt ungefähr achtmal so gut wie Platin den elektrischen Strom fortleitet. Bei dem oben erwähnten Versuche könnte ein ähnlicher Effekt auch mit einer Kette erzielt werden, bei der sämtliche Glieder aus einem und demselben Metall, aber von verschiedener Drahtstärke sind. In diesem Falle würden die Glieder aus dem dünnere Draht erglühen und die aus dem stärkeren Draht ihre Naturfarbe behalten. Schon aus diesen Versuchen lassen sich einige wichtige Schlußfolgerungen ziehen, und zwar:

1. Durch Erhöhung der Stromstärke steigt die Temperatur des Leiters.

2. Ist der Leiter in seiner Länge von gleichbleibendem Querschnitte, wobei aber seine einzelnen Teile aus verschiedenen Metallen angefertigt sind, so wird das schlecht leitende Metall viel heißer als das gut leitende, trotzdem alle Teile durch denselben Strom durchflossen sind.

3. Ist der Leiter in seiner ganzen Länge aus demselben Metall, weist aber dabei verschiedene Querschnitte auf, so werden die Stellen am heißesten, die den geringsten Querschnitt haben, d. h. die am dünnsten sind.

So einfach es nun erscheinen könnte, einen gegebenen Gegenstand, wenn er nur überhaupt den elektrischen Strom leitet, auf jeden gewünschten Wärmegrad zu erhitzen, indem man nur einen Strom von größerer oder geringerer Stärke (Intensität, Amperezahl) durchzuschicken hätte, stößt man doch beim ersten Zugreifen auf eine gar nicht vermutete Schwierigkeit — auf welche Weise die jeweilig durchfließende Stromstärke nach Bedarf verringert oder verstärkt werden könnte — und nun erst steht man vor der Frage, wovon denn eigentlich die Stromstärke abhängig ist.

Stromstärke bei
unveränder-
licher
Spannung

Es seien an eine elektrische Hauptleitung (Straßennetz) mehrere verschieden große Glühlampen, jede für sich, angeschlossen und jede mit einem eigenen Stromstärke- (Amperemeter) und Spannungsmesser (Voltmeter) verbunden. Während die Voltmeter aller Lampen die gleiche Spannung, z. B. 110 Volt, aufweisen, zeigen die Stromstärkemesser gar verschiedene Werte an; so bei einer Glühlampe 0,5, bei der anderen 1,5 und bei der dritten vielleicht 2,2 Amp., und dies

trotz des Umstandes, daß alle drei Glühlampen an eine gemeinschaftliche Hauptleitung angeschlossen sind. Die Verschiedenheit der Stromstärken muß also in diesem Falle durch die Lampen selbst verursacht und von der Stromquelle unabhängig sein. Bei näherer Betrachtung der Glühlampenfäden bemerkt man auch, daß in den einzelnen Lampen die Glühfäden verschieden stark und von verschiedener Länge sind; auch gibt es Lampen mit Kohlenfäden, mit Osmiumfäden, mit Tantalfäden. Diese Fäden bieten dem Stromdurchgang verschieden großen Widerstand, und je größer der Widerstand eines Fadens wie auch eines irgendwelchen anderen elektrischen Apparates ist, desto geringere Stromstärke läßt er durch. Bei unveränderlicher Spannung hängt also die Stromstärke lediglich von der Größe des inneren Widerstandes der Apparate ab. Um diesen Widerstand zu verringern, damit ein stärkerer Strom durchgehen und mehr Hitze erzeugt werden kann, muß man entweder in die Apparate einen Leiter von höherer Leitfähigkeit einführen (z. B. den Kohlenfaden durch einen Metallfaden ersetzen) oder den Querschnitt des Fadens verstärken oder dessen Länge verringern können. Verringert man dagegen den Querschnitt oder vergrößert man die Länge des Fadens, so wird dadurch der Widerstand des Apparates erhöht, und die Stärke des durchfließenden Stromes nimmt ab.

Diese Erfahrungen sind zwar für die Fabrikation von Glühlampen von Bedeutung, der Verbraucher weiß jedoch damit nicht viel anzufangen, denn die Einrichtung der Lampen läßt nicht zu, daß man die Glühlampen nach Belieben aufmacht, den gluhenden Faden etwa wie einen Docht der Petroleumlampe verlängert oder verkürzt und so auch die Stromstärke größer oder geringer macht; und wie mit den Glühlampen, so verhält es sich mit den meisten elektrischen Apparaten: sie sind gewöhnlich für eine ganz bestimmte Stromstärke konstruiert, und lassen in den meisten Fällen eine Änderung (Regulierung) derselben nicht zu. Nun gibt es allerdings eine Möglichkeit, die Stärke des durch einen Apparat durchgehenden Stromes zu vergrößern oder zu verringern, ohne daß man an den Apparat selbst auch nur heranzutreten nötig hätte, und zwar dadurch, daß man die Stromspannung (Voltzahl) in der Hauptleitung ändert. In gleicher Weise, wie beim Öffnen eines Ventiles an einer Dampfleitung eine stärkere oder weniger starke Dampfausströmung stattfindet, je nachdem die Dampfspannung im Kessel groß oder klein ist, oder in gleicher Weise, wie aus einer Wasserleitung beim Öffnen des Hahnes das Wasser stark oder schwach fließt, je nach-

Stromstärke bei
veränderlicher
Spannung.

dem der Wasserdruck in der Leitung hoch oder niedrig ist, wird auch die Stärke des durch einen Apparat fließenden elektrischen Stromes erhöht oder verringert, wenn die Spannung (Voltzahl) größer oder kleiner gemacht wird.

Früher, als man den elektrischen Strom durch galvanische Elemente erzeugte, war es sehr bequem, die Gesamtspannung der zu einer galvanischen Batterie vereinigten Elemente zu regulieren, indem man zur Erhöhung der Spannung einige Elemente zuschaltete und zur Verringerung der Spannung dieselben ausschaltete. Heutzutage bedient man sich, wie anfangs bemerkt worden ist, in der Starkstromtechnik nur der Dynamomaschine als Elektrizitätsquelle, weil man auf diesem Wege die Elektrizität unvergleichlich billiger erhält als mittels der galvanischen Elemente. Die meisten Dynamomaschinen lassen zwar die Änderung der Spannung bis zu gewissen Grenzen ohne Betriebsstörung zu, allein nur in sehr seltenen Fällen ist man in der Lage, die Dynamomaschine nur für seinen ausschließlichen Gebrauch zur Verfügung zu haben. Selbst in Betrieben, wo man eine eigene Dynamomaschine oder sogar eine eigene elektrische Zentrale hat, muß gewöhnlich von derselben Elektrizitätsquelle eine ganze Reihe von Motoren, Lampen oder von galvanischen Bädern gespeist werden, die aber für eine bestimmte Spannung konstruiert sind und Spannungsschwankungen nicht gut vertragen. In noch viel stärkerem Maße ist man gebunden, wenn man an eine Straßennetzleitung angeschlossen ist, durch welche Tausende von Einrichtungen bedient werden. In diesen Fällen ist eine willkürliche Beeinflussung (Erhöhung und Verringerung) der Spannung unzulässig, und man hat sich mit der verfügbaren Stromspannung als mit etwas Unabänderlichem abzufinden. Bei Auswechslung oder Neuanschaffung von elektrischen Apparaten wird in solchen Fällen nicht die von der Hauptleitung entnommene Stromspannung den Apparaten angepaßt, sondern umgekehrt, man schafft sich nur solche Apparate an, die speziell für die gegebene Spannung gebaut sind; so z. B. gibt es Glühlampen, Elektromotoren und dergl. für 60, 110, 220 Volt usw. Schließt man an eine Leitung von 110 Volt eine Glühlampe von 60 Volt an, so brennt sie meistens schon in den ersten Sekunden durch. Der verhältnismäßig hochgespannte Strom „sprengt“ den Glühfaden. Legt man dagegen eine für 220 Volt bestimmte Glühlampe an eine Leitung von 110 Volt an, so wird der Glühfaden kaum rotglühend und hat fast gar keine Leuchtkraft.

Will man einen Raum einmal sehr hell, ein anderes Mal weniger hell beleuchten können, so wird nicht die Lichtstärke der

Wahl elektrischer
Apparate in
Ansicht auf die
verfügbare
Spannung.

einzelnen elektrischen Lampen geändert, sondern man schaltet nach Bedarf eine größere oder geringere Zahl von Glühlampen ein. Man verfährt also genau wie bei Beleuchtung mit Stearinkerzen.

Wenn die Hervorbringung einer gewissen Leistung sich auf eine Anzahl gleichartiger Apparate verteilen läßt, wie es z. B. bei der Beleuchtung eines Saales durch eine große Zahl von Glühlampen der Fall ist, so gestaltet sich die Regulierung durch Zu- und Ausschalten von Lampen recht einfach in der Handhabung und sehr sparsam in bezug auf den Kraftverbrauch. Es gibt jedoch Fälle, wo diese Regulierungsart nicht durchführbar ist, sei es z. B., weil man im ganzen nur mit einem einzigen Apparate zu tun hat, sei es, weil die Leistung nur ganz allmählich geändert werden und dabei gleichmäßig verteilt bleiben soll. Da dieser Fall (allmähliche Anwärmung und gleichmäßige Wärmeverteilung) gerade in der Keramik recht häufig eintritt, so soll er hier etwas eingehender besprochen werden. Man denke sich z. B. eine Brennmuffel, deren Boden und Wandungen auf irgendwelche, später zu erläuternde Weise durch elektrischen Strom erhitzt, d. h. glühend gemacht werden können. Um die Erhitzung allmählich steigern zu können, sind die drei Wandungen und vielleicht auch der Boden unabhängig voneinander einschaltbar. Würde man nun zuerst den Boden einschalten, nach einiger Zeit die Hinterwand, dann die linke und schließlich die rechte Wand, so wird die Hitze in der Mitte des Muffelraumes zwar allmählich ansteigen, aber das darin befindliche Gut wird doch nicht allmählich und gleichmäßig, wie es sich gehört, erhitzt werden. Die dem Muffelboden nächstliegenden unteren Schichten des Brenngutes würden in solchen Fällen, ohne vorgewärmt zu sein, gleich von anfang an der vollen Glut ausgesetzt werden, dann käme die Reihe an das an der Hinterwand liegende Brenngut, und nur die an der rechten Muffelseite liegenden Gegenstände würden wirklich allmählich erhitzt werden. Eine derartige Regulierung wäre daher gänzlich verfehlt; vielmehr ist von einer Brennmuffel zu verlangen, daß bei ihr alle Wandungen zuerst nur schwach und dann immer stärker erhitzt werden können. Es sei angenommen, daß eine solche Brennmuffel derartig konstruiert ist, daß bei direktem Anschluß an die Straßennetzspannung von 110 Volt sie in die höchste erforderliche Glut gerät; um diesen Erhitzungsgrad nur allmählich zu erreichen, wird der Muffel zuerst ein elektrischer Strom von geringerem Spannungsabfall zugeführt, und in dem Maße, wie der Spannungsabfall erhöht wird, wird auch die Glut der Muffelwandungen steigen. Dies kann dadurch erreicht werden, daß man die Muffel

Regulierung
der Leistung
elektrischer
Apparate.

nicht direkt an die beiden Hauptstromleitungen anschließt, sondern zwischen der Brennmuffel und einer der Hauptleitungen noch eine geeignete Hilfsvorrichtung, z. B. einen langen, dünnen Metalldraht oder -streifen einschaltet, der dem Durchgange des Stromes einen Widerstand bietet. Man verwendet zu solchen „Vorschalt- oder Zusatzwiderständen“ mit Vorliebe weniger gut leitende Metalle und Legierungen, wie z. B. Neusilber, Nickelin und dergl. Wählen wir die Abmessungen unseres Zusatzwiderstandes derartig, daß seine Widerstandswirkung derjenigen der Brennmuffel selbst gleichkommt. Der elektrische Strom fließt nun aus dem Hauptleitungsanschlusse zuerst durch den etwa 60 m langen, 20 mm breiten und 1,2 mm starken Nickelinstreifen, dann durch die Brennmuffel und von dieser durch den anderen Hauptanschluß zurück. Da der Vorschalt- oder Zusatzwiderstand von der gleich großen Widerstandswirkung wie derjenige der Brennmuffel ist, so verteilt sich der zwischen den beiden Stromanschlußklemmen 110 Volt betragende Spannungsabfall gleichmäßig auf den Nickelinstreifen und auf die Muffel. Diese wird jetzt zwar auch heiß, aber lange nicht so schnell und nicht so stark, wie es ohne den Zusatzwiderstand der Fall wäre. Ist die Muffel genügend vorgewärmt worden, und soll die Temperatur noch weiter gesteigert werden, so braucht nur der Nickelindraht ausgeschaltet und die Muffel mithin der vollen Spannung ausgesetzt zu werden. In vielen Fällen wird man jedoch vorziehen, auch weiterhin die Temperatursteigerung nur stufenweise vorzunehmen und daher nicht auf einmal der Muffel die volle Spannung zuzuführen. Man wird vielmehr den 60 m langen Nickelinstreifen durch einen solchen von 30 m Länge ersetzen. Wie bereits ausgeführt, ist die Widerstandswirkung eines Leiters um so größer, je länger er ist. Wenn wir die Größe der Widerstandswirkung des zuerst benutzten 60 m langen Nickelinstreifens von $20 \times 1,2$ mm Querschnitt mit 1 bezeichnen (in der Elektrotechnik wird diese Größe mit 1 Ohm bezeichnet), so beträgt die Widerstandswirkung des gleichen, aber nur 30 m langen Metallstreifens $\frac{30}{60} = \frac{1}{2}$ der ursprünglichen Wirkung, oder in diesem Falle $\frac{1}{2}$ Ohm. Wenn daher der 60 m lange Streifen, der eine gleich große Widerstandswirkung hatte wie die Muffel selbst, die Hälfte der Gesamtspannung, also $\frac{110}{2} = 55$ Volt aufnahm, so wird durch den 30 m langen Metallstreifen nur die Hälfte davon: $\frac{55}{2} = 27,5$ Volt aufgenommen und

die Muffel dem Strom von $110 - 27,5 = 82,5$ Volt ausgesetzt werden. Ersetzt man den 30 m langen Nickelinstreifen von $20 \times 1,2$ mm Querschnitt durch einen solchen von 12 m Länge und $30 \times 1,2$ mm Querschnitt, so wird dessen Widerstandswirkung wiederum verringert, und zwar einerseits, weil er nur $\frac{12}{30} = 0,4$ der ursprünglichen Länge und anderseits anderthalbmal größeren Querschnitt hat. Der auf ihn entfallende Anteil am Spannungsabfall wird daher betragen: $27,5 \times \frac{12}{30} \times \frac{20}{30} = 27,5 \times \frac{2}{7,5} = 7,33$ Volt, und die Brennmuffel erhält eine Stromspannung von $110 - 7,33 = 102,67$ Volt.

Die Fig. 1 zeigt, in welcher Weise ein elektrischer Ofen von etwa 0,75 Ohm inneren Widerstand mit den verschiedenen Hilfsapparaten und Meßinstrumenten verbunden wird.

Von den beiden Hauptleitungen werden an den Stellen *a* Abzweigungen angelegt und an diese ein doppelpoliger Hebelschalter *b* angeschlossen. Gleich nach dem Ausschalter sind Sicherungen *c* angebracht, durch welche der Strom von selbst unterbrochen wird, wenn aus irgendwelcher Ursache eine zu große Stromentnahme oder gar Kurzschluß stattfinden sollte. Von den Sicherungen geht die eine Leitung (isoliertes Kupferseil von 50 mm im Querschnitt) zu dem Regulierwiderstande *d*. Dieser enthält eine große Anzahl von Drahtspulen aus Nickelin, Manganin oder ähnlichen, verhältnismäßig schlecht leitenden Legierungen, die, wie es häufig der Fall ist, auf Porzellanrollen gewickelt sind, damit sie sich untereinander nicht verwirren. Je nach der Stellung der Kurbel *e* geht der Strom durch eine größere oder geringere Anzahl von Drahtspulen durch, die einen entsprechenden Teil der Spannung aufnehmen. Steht die Kurbel auf dem ersten Kontakt rechts, so ist der Widerstand „kurz geschlossen“, d. h. der elektrische Strom geht durch, ohne die Drahtspulen zu durchfließen. Je weiter nach links die Kurbel gedreht wird, eine desto größere Anzahl von Drahtspulen wird vom Strome durchflossen, bevor er zu der Stromzuführung *f*₁ der Brennmuffel gelangt. Der elektrische Strom durchfließt die im Ofen eingebauten Heizkörper („Heizwiderstände“), wobei die inneren Wandungen der Muffel mehr oder weniger hoch erhitzt werden, und verläßt den Ofen bei *f*₂, wo er den Rückweg zu der zweiten Sicherung und von dort zur Hauptleitung antritt. Um eine Übersicht über die jeweilige Stromstärke und Spannung, denen der Ofen ausgesetzt ist, zu ermöglichen, empfiehlt es sich, bei jedem Ofen einen Stromstärkemesser (Amperemeter) und einen Spannungszeiger (Voltmeter) anzubringen.

Hierbei ist zu beachten, daß der Amperemeter, der die Stromstärke in Ampereinheiten angibt, in die Leitung selbst eingeschlossen wird, so daß der ganze Strom durch dieses Instrument fließt, und daß der

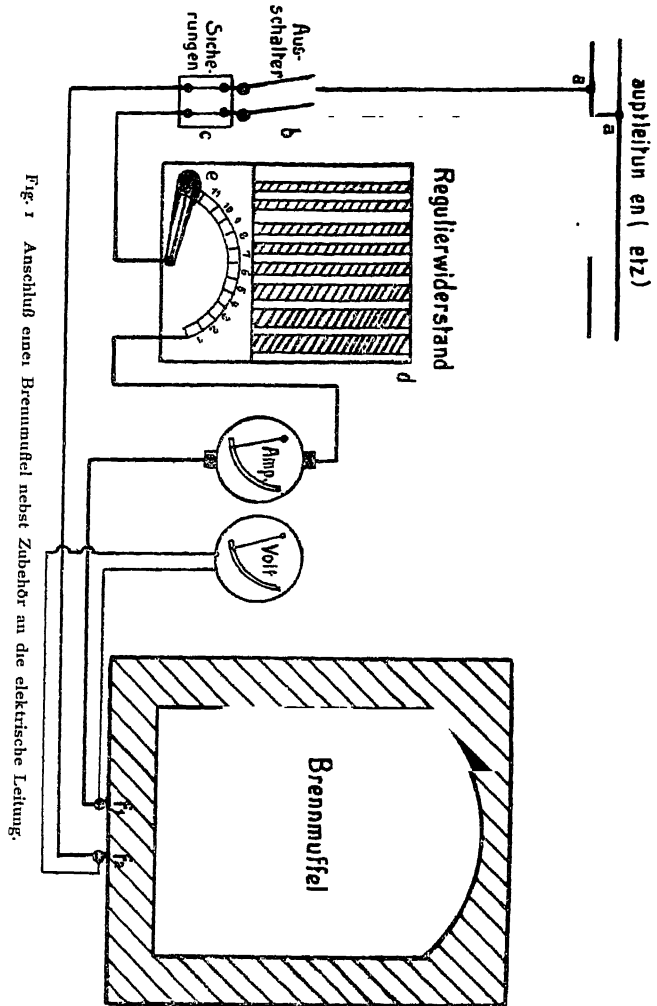


Fig. 1 Anschluß eines Brennmuffel nebst Zubehör an die elektrische Leitung.

Voltmeter dagegen von der Hauptleitung unabhängig ist und mit zwei ganz dünnen umspannten Kupferdrähten von etwa 1 mm Stärke mit den beiden Stromzuführungen f_1 und f_2 der Brennmuffel verbunden wird.

Soll der Ofen in Gang gesetzt werden, so wird zuerst die Kurbel e des Regulierwiderstandes auf den zweitletzten Kontakt links gestellt, wo der Widerstand am größten ist (der letzte Kontakt

dient gewöhnlich nur als Stützpunkt für die Kurbel und ist stromlos), und nun drückt man den Hebel des Ausschalters an, wodurch der Stromdurchgang bewirkt wird. Mit der fortschreitenden Anwärmung der Brennmuffel wird die Kurbel von Zeit zu Zeit um einen oder mehrere Kontakte nach links gedreht. Die Drehung muß jedesmal ruckweise (nicht langsam) ausgeführt werden. Ist nun die Kurbel an dem ersten Kontakt links angelangt, so steht die Brennmuffel unter der vollen Stromspannung der Hauptleitung. Soll die Temperatur der Muffel etwas gemäßigt werden, so dreht man wieder ruckweise die Kurbel e nach links, d. h. man schaltet mehr oder weniger Widerstand vor. Um die Erhitzung zu unterbrechen, wird der Hebel des Ausschalters b mit einem Ruck zurückgezogen.

In dem Maße, wie die Wirkung des Regulierwiderstandes durch Drehung der Kurbel e nach rechts verringert wird, steigt der vom Voltmeter angezeigte Spannungsabfall zwischen den Stromzuführungen f_1 und f_2 der Brennmuffel und in gleichem Verhältnisse zur Voltzahl steigt auch die Amperezahl, d. h. die Stromstärke. Wie bereits erwähnt, steht die Spannungsdifferenz zwischen zwei Punkten eines stromdurchflossenen Leiters zu der Gesamtspannung (in unserem Falle 110 Volt) in gleichem Verhältnis, wie der Widerstand der zwischen den beiden Punkten eingeschlossenen Strecke zum Gesamtwiderstand des Stromkreises. Dieser Gesamtwiderstand R setzt sich in unserem Falle zusammen aus dem inneren Widerstande der Brennmuffel r_1 und dem etwaigen Vorschalt- (Regulier-) Widerstande r_2 und wird gemessen in Ohm.

Demnach ist $R \text{ Ohm} = r_1 \text{ Ohm} + r_2 \text{ Ohm}$.

Ist der Vorschaltwiderstand kurz geschlossen oder benutzt man überhaupt keinen Zusatzwiderstand, so besteht in solchem Falle der Gesamtwiderstand nur aus dem Ofenwiderstande, so daß $R = r_1$.

Je nach dem Kontakte, der von der Kurbel des Vorschaltwiderstandes berührt wird, ändert sich der Gesamtwiderstand R in folgender Weise:

Wirkungsweise
des Vorschalt-
widerstandes.

beim Kontakt beträgt	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
der Ohmwert des Zusatzwiderstandes } der innere Widerstand des Ofens ¹⁾ in Ohm }	1,5	1,25	1,00	0,8	0,6	0,4	0,3	0,2	1,0	0,05	0
	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
der Gesamtwiderstand beträgt dann ($R = r_1 + r_2$) in Ohm }	2,25	2,00	1,75	1,55	1,35	1,15	1,05	0,95	0,85	0,8	0,75

1) In der Wirklichkeit ändert sich bei steigender Temperatur der innere Widerstand des Ofens, und zwar je nach der Konstruktion der Heizwiderstände nimmt er zu oder ab

Entsprechend dem Verhältnis des Ofenwiderstandes r_1 zu dem Gesamtwiderstande R findet die Spannungsverteilung statt, und zwar entfällt auf den Ofen eine um so höhere Spannung, je größer sein Anteil an dem Gesamtwiderstande R ist.

Beim Kontakte	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
beträgt dies Verhältnis $\frac{r_1}{R}$	$\frac{0,75}{2,25}$	$\frac{0,75}{2,0}$	$\frac{0,75}{1,75}$	$\frac{0,75}{1,55}$	$\frac{0,75}{1,35}$	$\frac{0,75}{1,15}$	$\frac{0,75}{1,05}$	$\frac{0,75}{0,95}$	$\frac{0,75}{0,85}$	$\frac{0,75}{0,8}$	$\frac{0,75}{0,75}$
und dementsprechend beträgt der Spannungsabfall in Volt zwischen f_1 und f_2 des Ofens: $\frac{r_1}{R} \cdot 110$ Volt	36,7	41,3	47,2	53,2	61,2	71,7	78,6	86,8	97	103,2	110

Die Stromstärke J (in Ampere gemessen) hängt von dem Spannungsabfall E zwischen den beiden Hauptleitungen und von dem Gesamtwiderstande (R) ab, und zwar ist sie um so größer, je höher der Spannungsabfall (E) und je kleiner der Gesamtwiderstand ist, so daß man schreiben kann $J = \frac{E}{R}$. Da unsere Stromquelle einen Strom von konstanter Spannung von 110 Volt abgibt, so ist $J = \frac{110}{R}$.

In welcher Weise der Gesamtwiderstand den Wert R erreicht, ob er aus vielen kleineren Einzelwiderständen oder nur aus einem einzigen Widerstande besteht, ist gleichgültig, solange die einzelnen Bestandteile der Anlage (Ausschalter, Widerstandsregulator, Kurbel, Brennmuffel, Amperemeter) einen einzigen Stromkreis bilden. Nur in den dünnen Zuleitungsdrähten des Voltmeters und im Voltmeter selbst, da sie nicht in den Stromkreis mit den anderen Teilen hintereinander („in Serie“), sondern nebeneinander geschaltet sind, herrscht eine andere Stromstärke, die übrigens sehr klein und hier ohne Interesse ist.

Je nach der Stellung der Kurbel des Regulierwiderstandes

an dem Kontakte	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
beträgt der Gesamtwiderstand R in Ohm	2,25	2,0	1,75	1,55	1,35	1,15	1,05	0,95	0,85	0,80	0,75
zeigt der Voltmeter in Volt	36,7	41,2	47,2	53,2	61,2	71,7	78,6	86,8	97	103,2	110
zeigt der Amperemeter in Ampere ($= \frac{110}{R}$)	48,8	55	63	71	81,5	95,7	104,7	115,8	129,5	137,7	147

Aus dieser Zusammenstellung ersieht man, in welcher Weise bei Änderung an dem Vorschaltwiderstande die Stromstärke und die

Stromspannung in der Brennmuffel sich ändern¹⁾; gleichzeitig damit ändert sich auch die Heizkraft des elektrischen Stromes. Diese Heizkraft (W) wächst in gleichem Maße sowohl mit wachsendem Spannungsabfall (Voltzahl E) wie mit wachsender Stromstärke (Amperezahl J) des Stromes, so daß, wenn man weiß, wie stark und von welcher Spannung der Strom in einem Ofen ist, man berechnen kann, wieviel Wärme darin entwickelt wird.

Die Wärmemenge, wie überhaupt jede Arbeit, jede Leistung, die ein elektrischer Strom hervorbringen kann, wird durch das Produkt der Voltzahl auf Amperezahl ausgedrückt. Als Einheit der Leistung wird diejenige Arbeitsmenge angesehen, welche ein Strom von 1 Amp. Stärke und 1 Volt Spannung hervorbringt. Diese Einheit bezeichnet man mit Watt. Da, je länger der Strom einwirkt, desto mehr Arbeit geleistet wird, so muß auch noch die Zeit angegeben werden, während welcher die Arbeit von 1 Watt geleistet wird. Bei wissenschaftlichen Arbeiten benutzt man oft als Zeiteinheit die Sekunde, in der Technik aber die Stunde, und man rechnet demnach nach Wattstunden. Da die Wattstunde eine kleine Einheit ist und man es bei Verrechnungen mit sehr großen Zahlen zu tun hätte, so wird meistens nach Kilowattstunden (Kwstd.), d. h. nach Tausenden von Wattstunden gezählt.

Messung der elektrischen Arbeit.

Sagt man z. B., daß der Ofen 12 Kilowattstunden verbrauchte, so heißt es, daß das Produkt der Amperezahl mit der Voltzahl und mit der Stundenzahl die Zahl 12000 ergab. Ob man dabei nun eine Stunde mit einem Strome von 100 Amp. und 120 Volt, oder eine Stunde mit 500 Amp. und nur 24 Volt oder 6 Stunden lang mit 20 Amp. und 100 Volt gearbeitet hat, das Produkt bleibt in allen Fällen das gleiche:

$$100 \times 120 \times 1 = 500 \times 24 \times 1 = 20 \times 100 \times 6 = 12000.$$

In einfacher und einwandfreier Weise konnte sowohl auf rechnerischem Wege wie durch direkten Versuch der Nachweis geführt werden, daß, wenn der elektrische Strom in einem Leiter ausschließlich zur Wärmeerzeugung dient, jede Kilowattstunde 864 große Kalorien²⁾ (Wärmeeinheiten) erzeugt. Da die Heizkraft aller anderen

Heizwert einer Kilowattstunde.

1) Wird statt Gleichstrom Wechselstrom oder Drehstrom benutzt, so kann bei Änderung des vorgeschalteten Widerstandes eine geringe Verschiebung in den hier mitgeteilten Zahlen eintreten.

2) Unter einer großen Kcalorie versteht man die Wärmemenge, welche 1 kg (Liter) Wasser bei Erwärmung um 1° C. aufnimmt; wenn also ein Gefäß mit 300 Liter Wasser (Badewanne) bei einer Außentemperatur von 10° C. auf 30° C. erhitzt werden soll, muß dem Wasser $300 \times (30 - 10)$

Heizmittel ebenfalls durch die Anzahl der Kalorien, die sie beim Verbrennen entwickeln, gemessen wird, so ist dadurch die Möglichkeit gegeben, Vergleiche zwischen den Kosten der mittels verschiedener Brennstoffe erzeugten Wärme anzustellen¹⁾ (siehe nebenstehende Tabelle auf S. 13).

Wärmeverluste
bei Brennstoffen
und gute Aus-
nutzung der
Stromwärme.

Die Einheitspreise für die Brennstoffe variieren sehr stark, sowohl nach Ort wie nach Zeit. Hält man die hier eingesetzten Preise für eine große Zahl von Fällen als zutreffend, so läßt sich die Frage kaum unterdrücken, wie man überhaupt daran ernstlich denken kann, die verhältnismäßig billige Beheizung mittels fester Brennstoffe durch die um mehrfachen Betrag kostspieligere elektrische Heizung ersetzen zu wollen. Und nun stellt sich bei näherer Betrachtung dieser Zahlen heraus, daß dieselben wohl angeben, wieviel Wärmeeinheiten bei der Verbrennung erzeugt werden, nicht aber wieviel davon ausgenutzt werden können. Bei jeder Verbrennung entstehen Verbrennungsprodukte (Rauch und Abgase), welche durch den Schornstein entweichen und dabei viel Wärme dem Ofen entziehen. Nur in wenigen großen Ofenanlagen dürfte mehr als ein Fünftel der entwickelten Wärmemenge ausgenutzt werden. Je kleiner die Ofenanlage ist und je höhere Temperatur darin erzeugt wird,

= $300 \times 20 = 6000$ Kalorien zugeführt werden, wozu etwa 7 Kilowattstunden (oder 7000 Wattstunden) nötig sind.

Angenommen den Fall, daß man nur eine Viertelstunde auf die Bereitung des Bades warten will und man die Berliner Stromverhältnisse (440 Volt) hat, so läßt sich leicht berechnen, für wieviel Ampere die Heizanlage und Leitung angelegt werden müssen:

$$440 \times \frac{1}{4} \times A = 7000 \text{ oder } A = \frac{7000}{110} = 63,63.$$

Die Stromstarke A muß demnach rund 64 Amp betragen. In ähnlicher Weise läßt sich der Wärmebedarf berechnen, wenn es sich nicht um Wasser handelt, oder wenn Temperaturen in Betracht kommen, auf welche das Wasser selbst niemals erhitzt werden kann. Die mineralischen Substanzen und Metalle erhitzen sich viel leichter als Wasser, d. h. daß man mit derselben Wärmeeinheit (Kalorie), die gerade ausreicht, um 1 kg Wasser auf 1° C. zu erhitzen, mehrere Kilogramm von Mineralien auf 1° C. erwärmen kann. Die Wärmemenge, die 1 kg eines Körpers bei Erwärmung um 1° C. aufgespeichert enthält, nennt man die spezifische Wärme des betreffenden Körpers. Die spezifische Wärme des Wassers beträgt 1; diejenige des Quarzes kann mit 0,27 veranschlagt werden. Die 1000 kg Quarz, wenn sie z. B. auf 800° erhitzt sind, enthalten demnach

$$1000 \times 800 \times 0,27 = 21600 \text{ Kalorien,}$$

und um diese Wärmemenge durch Elektrizität zu erzeugen, sind nötig $21600 : 864 = 25$ Kilowattstunden.

1) Vergl. Gruber, Stahl und Eisen 1904, Heft 1 u. 2.

Verbrennungswärme und Heizeffekt pro Einheit.

1	2	3	4	5	6	7
	Bei vollkommener Verbrennung mit Luftüberschuß		Bei unvollkommener Verbrennung in der Annahme, daß der Kohlenstoff halb zu Kohlensäure und halb zu Kohlenoxyd verbrennt und die Luft vorgewärmt wird		Preis pro Einheit (Kilogramm, Kubikmeter, Kilowatt) des Heizmittels in Pfennigen	Preis pro 10000 Wärmeinheiten bei hohen Hitzeegraden in Pfennigen
	unter Abzug der Verdampfungswärme des Wassers	erreichbare Temperatur in C°	Wärmeeinheiten	Temperatur in C°		
	Wärmeeinheiten					
Holz mit 20 % Wasser	2991	1104	1888	1519	—	—
Braunkohle { Bitterfeld, Köln	3481	1136	2263	1665	0,3	1,4
Braunkohle (böhm.)	4183	1188	2782	1808	1,0	3,6
Steinkohle	7487	1287	5200	2114	2,0	3,9
Koks	6800	1273	4420	2036	3,0	6,8
Anthrazit	8002	1307	5435	2137	3,5	6,45
Naphtha	—	—	10 000	2300	10	10
Leuchtgas	(1 cbm wiegt etwa 700 g)		6000	2500	10	16,7
Wasserstoff	(1 " " " 90 ")		25 000	2665	16	64
Gichtgas	(1 " " " 1250 ")		900	2150	0,1	1,15
1 Kilowattstunde .	Selbsterzeugungskosten: erzeugt in Berlin in Bitterfeld mit Braunkohle in Westfalen mit Gichtgas in Tirol mit Wasserkraft		864	alles kann geschmolzen und verflüchtigt werden		
				pro Kwstd.	8	92,7
					2,5	29
					1,61	18,6
					1,00	11,6
					0,6	6,9

Kosten-
vergleiche f
die auf ver
schiedene W
gewonnene
Wärme.

desto mehr sinkt der wahre Nutzeffekt, und es mangelt sicher nicht an Ofenanlagen, wo der Nutzeffekt kaum 10 % der erzeugten Wärme erreicht. Bei Umwandlung der elektrischen Energie in Wärme entstehen gar keine Verbrennungsprodukte, und mithin ist die Hauptquelle der Wärmeverluste ganzlich ausgeschaltet. Da außerdem der „Verbrennungsraum“ wegfällt und die Unterbringung der elektrischen Heizkörper sehr wenig Platz beansprucht, so wird der ganze Ofenraum bedeutend geringer, wodurch wiederum viel weniger Wärme durch Ableitung und Strahlung nach außen verloren geht.

In vielen Fällen handelt es sich aber in erster Linie nicht darum, den Ofen möglichst billig zu erheizen, sondern ihn recht heiß zu erhalten. In der Spalte 5 der letzten Tabelle sind die höchsten erreichbaren Temperaturen für jedes der Heizmittel zusammengestellt. Aber auch hier entsprechen zwar die meisten der Zahlen der Temperatur der Flamme selbst, es ist jedoch so gut wie unmöglich, irgendwelche größeren Gegenstände auf die Temperatur der Flamme zu erhitzen. Die höchste Temperatur, auf die durch Kohle- bzw.

Generatorgasfeuerung ein Ofen gebracht werden kann, dürfte etwa bei 1800° liegen. Diese Schwierigkeiten fallen bei Heizung durch Elektrizität vollständig weg, und es gibt auf unserem Planeten keinen Stoff, der mittels Elektrizität nicht geschmolzen oder verflüchtigt (verdampft) werden könnte. Dabei lassen sich auch die höchsten Hitzegrade spielend leicht und mit ganz einfachen Mitteln erzielen, wohingegen, um einen Gegenstand mittels gewöhnlicher Brennstoffe nur auf die Temperatur von 1600 bis 1700° zu bringen, man schon sehr sinnreicher und kostspieliger Anlagen bedarf.

Schmelzpunkte
der Metalle.

Jegliche Art von elektrischer Heizung läßt sich als Widerstandsheizung betrachten, und für die Erzeugung hoher Temperaturen ist die Feuerbeständigkeit des als Heizwiderstand benutzten Materials von großer Bedeutung. Unter den als elektrisch leitend angeführten Substanzen waren bis jetzt nur Metalle erwähnt. Die Schmelzpunkte der wichtigeren Metalle liegen bei folgenden Temperaturen (in Celsiusgraden):

Zinn (231°), Blei (326°), Zink (419°), Aluminium (657°), Silber (955°), Gold (1063°), Kupfer (1080°), Eisen, Chrom, Nickel (1400 bis 1600°), Platin (1710°), Rhodium (1900°), Tantal (2150°), Osmium (2200°), Iridium (2250°), Wolfram (etwa 3000°).

Die Anwendung auch der am schwersten schmelzbaren Metalle zur Erzeugung hoher Temperaturen ist jedoch mit gewissen Schwierigkeiten verknüpft. Infolge der hohen elektrischen Leitfähigkeit der Metalle und da die aus denselben angefertigten Heizwiderstände den ziemlich hohen Straßennetzspannungen angepaßt werden müssen, ist man darauf angewiesen, die Metalle in Form äußerst dünner Drähte, Streifen oder Beläge zu verwenden. Dies führt zu sehr empfindlichen Konstruktionen, die bei geringster Unregelmäßigkeit des Betriebes versagen können. Außerdem vertragen diese Metalle das Erhitzen selbst auf 200° unterhalb ihrer Schmelzpunkte nur kurze Zeit, da sie in den hohen Hitzegraden in merklicher Weise zerstäuben und dann gewöhnlich an einer oder anderer Stelle durchschmelzen.

Elektr. leitende
und nicht-
leitende Kohle

Bei Aufzählung von leitenden und nichtleitenden Substanzen ist Kohle nicht genannt worden, und zwar weil man mit ebenso gutem Rechte Kohle zu den Leitern wie zu den Nichtleitern rechnen kann, je nachdem, was für Kohle man in Händen hat. Trockner Torf, Braunkohle, Steinkohle und auch Anthrazit leiten den elektrischen Strom nicht, so daß man dieselben als Isolatoren betrachten kann. Selbst bis auf Rotglut erhitzte Steinkohle leitet in merk-

barer Weise den Strom nicht, und erst nachdem fast alle ihre flüchtigen Bestandteile und namentlich die Teerprodukte entwichen sind, wird sie elektrisch leitend. Je höher die Kohle nun erhitzt (verkocht) wurde und je dichter der zurückgebliebene Koksrückstand ist, um so besser leitend ist er. Durch Erhitzen auf sehr hohe Temperatur und unter Luftabschluß geht der Koks in graphitartigen Kohlenstoff über, der auch die bestleitende Kohlenstoffmodifikation bildet.

Da Kohlenstoff bei keiner uns bekannten Temperatur schmilzt und bei äußerst hohen Temperaturen zu zerstäuben bzw. sich zu verflüchtigen beginnt, so kann man einen Kohlenstab, der zwischen zwei stromleitenden Klemmen eingeschaltet ist, in sehr hohe Glut bringen. Der Versuch muß aber schnell abgebrochen werden, weil Kohlenstoff, auch in seiner Graphitmodifikation, an der Luft bei diesen Temperaturen schnell (wenn auch mitunter ohne Flamme) verbrennt. Schließt man aber den Kohlenstab von der Luft ab, z. B. wie es mit dem Kohlenfaden einer Glühlampe der Fall ist, so läßt sich auch der dünnste Kohlenfaden viele Hunderte von Stunden weißglühend erhalten. In welcher Weise die Anwendung von kohlenstoffhaltigen Heizwiderständen auch ohne völligen Luftabschluß sich durchführen läßt, wird in den weiteren Darlegungen noch geschildert werden.

Könnte die Kohle nicht ohne weiteres zu den Leitern oder Nichtleitern zugezählt werden, so muß noch darauf aufmerksam gemacht werden, daß überhaupt diese Einteilung nur für unsere Luft- oder Zimmertemperatur Gültigkeit hat. Sobald man aber nicht mit kalten, sondern mit heißen oder gar glühenden Körpern zu tun hat, verschieben sich die Verhältnisse: Die Metalle büßen von ihrer Leitfähigkeit mit der steigenden Temperatur etwas ein, die sogen. Nichtleiter, falls sie sich überhaupt hoch erhitzen lassen, beginnen dagegen eine recht merkbare Leitfähigkeit zu zeigen. Dies z. B. ist der Fall sowohl bei Glas und Glassatz, selbst wenn er noch nicht geschmolzen ist, wie auch bei den Salzen, Erden und anderen Metalloxyden. Diese Erscheinung kann für Schmelzzwecke in der Weise ausgenutzt werden, daß man das stark vorgewärmte Heizgut, z. B. Glas, mit zwei stromführenden Flächen in direkte Berührung bringt, worauf die weitere Selbsterhitzung der Masse sich sofort bemerkbar macht. In vielen Industrien, so bei dem Verschmelzen der Tonerde mit ihren Salzen zu metallischem Aluminium, beim Verschmelzen von Kalk zu Kalziumkarbid, hat diese Arbeitsweise eine großartige Anwendung gefunden, und sie durfte überhaupt von

Leitfähigkeit
erhitzter
Körper.

allen elektrischen Heizarten die sparsamste sein, weil hier die Heizung nicht von außen, sondern innerhalb des Heizgutes selbst stattfindet und infolgedessen Wärmeverluste infolge der Erhitzung von Zwischenwänden und Strahlung nach außen fast gänzlich vermieden werden. Auch bei den Nernstlampen bedient man sich dieser Eigenschaft vieler Erden und Metalloxyde, im heißen Zustande den Strom zu leiten und sich dabei noch stärker zu erhitzen; das Gluhstäbchen dieser Lampen, welches ganz wie verglühtes, aber noch nicht gebranntes Porzellan aussieht, leitet in kaltem Zustande den Strom nicht, sobald es aber vorgewärmt ist, geht der Strom durch, und das Stäbchen wird weißglühend. Und ähnlich wie mit den Oxyden in dem Nernststäbchen verhält es sich mit unserer Luft, welche bei gewöhnlicher Temperatur zu den besten Nichtleitern, die überhaupt bekannt sind, gehört. Wird aber die Luft recht heiß, so leitet auch sie den Strom, und zwar in einer schwach gekrümmten Linie, welche die beiden spitzen Enden der Stromzuführungen verbindet und die mit Lichtbogen bezeichnet wird. Diese Lichtbogen haben eine ausgedehnte Anwendung sowohl zur Licht- (Bogenlicht) wie auch zur Hitzeezeugung (Flammbogen) gefunden. In den meisten Fällen wird der Lichtbogen in der Weise hergestellt (angezündet), daß zwei an Stromleitungen angeschlossene Kohlenstäbe mit ihren beiden freien Enden in Berührung gebracht werden. In demselben Augenblick werden die Kohlenspitzen glühend, und ebenso heiß wird auch die nächste sie umgebende Luftschicht. Werden nun die Kohlenstäbe langsam (nicht ruckweise) auseinandergebracht, so wird der Stromdurchgang doch nicht unterbrochen, sondern es entsteht der blendend helle Lichtbogen, den man nur durch stark verdunkelte Gläser ansehen darf, da die Augen sonst angegriffen werden. Ist der Strom stark genug, so kann man die freien Kohlenspitzen auf 5, 6 und noch mehr Zentimeter voneinander entfernen. Wird nach der Stromunterbrechung der Strom wieder eingeschaltet, bevor die Kohlenenden unter eine gewisse Temperatur sich abkühlen konnten, so entsteht der Bogen von selbst wieder.

Lichtbogen
bezw
Flammbogen.

Temperatur im
Lichtbogen.

Über die Temperatur des den Bogen bildenden Luftstreifens sind dem Verfasser keine Messungen bekannt. Die Messung der Helligkeit (Lichtstrahlung, Lichtemission) der positiven Kohlenspitze des Lichtbogens ergab die Temperatur von etwa 3400°C . (vergl. S. 17 u. 65) Ob und in welchem Verhältnis die Temperatur des Lichtbogens mit der Stromstärke und Bogenlänge wächst, ist mit Sicherheit nicht bekannt (vergl. S. 65). Nachgewiesen ist, daß in der Nähe des Lichtbogens alles, was als höchst feuerfest gilt,

nicht nur geschmolzen, sondern sogar verdampft oder zerstäubt werden kann.

Wenn durch einen gewöhnlichen Leiter (z. B. Metalldraht, Kohlenfaden) elektrischer Strom fließt, so kann man ohne besondere Hilfsmittel nicht sagen, ob es Gleichstrom oder Wechselstrom ist. Anders ist es beim Lichtbogen; bei einem Gleichstrombogen kann man mitunter direkt beobachten, wie der Strom von der positiven Elektrode winzige Kohlepartikelchen wegschleudert und sie zur negativen Elektrodenspitze hinüberschleudert. Nach Bestimmungen von M. Reich¹⁾ beträgt die Temperatur des positiven Kohlenkraters 3700° (absolut²⁾) und die des negativen 3140° . Aus diesem Grunde und infolge des einseitigen Abschleuderns der Kohlepartikelchen brennt die positive Kohle viel schneller als die negative ab. Bei Wechselstrom, d. h. bei einem Strome, der seine Richtung sehr häufig wechselt (meistens 100 Polwechsel pro Sekunde), findet der Abbrand der beiden Kohlenspitzen dagegen gleichmäßig statt. Auch sonst treten beim Lichtbogen Erscheinungen auf, die bei festen Leitern nicht möglich sind, so z. B. kann ein Luftzug den Lichtbogen ausblasen, so daß der Strom gänzlich unterbrochen wird. Durch Anwendung eines Elektromagneten kann der Lichtbogen abgelenkt, ja er kann sogar zu einem spitzen Winkel ausgebildet werden, so daß man ein förmliches Gebläse mit einer Stichflamme erhält.

Die Heizwirkung des Licht- oder Flambogens ist von derjenigen anderer Heizarten (Kohlen- und Gasfeuerung, elektrische Heizung mittels fester und flüssiger Heizwiderstände) insofern wesentlich verschieden, als man bei diesen im allgemeinen die Möglichkeit hat, ihre Heizkraft auf einen großen Teil der Gesamtfläche des Heizgutes gleichmäßig zu verteilen. Bei Anwendung des Lichtbogens ist dies nicht mehr der Fall. Hier wird im Umkreise von einigen Zentimetern eine gewaltige Hitze entwickelt, die zur vollen Geltung nur auf die unmittelbar davor sich befindenden Partikelchen des Schmelzgutes gelangt. Die Heizwirkung des Lichtbogens ist im wesentlichen auf die bestrahlte Oberfläche beschränkt und verliert mit steigender Entfernung rapid ihre Wirkung. Hat man eine große Menge des Schmelzgutes durch einen Lichtbogen

Flambogen-
heizung

1) Über Größe und Temperatur des negativen Lichtbogenkraters. Physik. Zeitschr. 1906, S. 73.

2) Der absolute Nullpunkt liegt 273° unterhalb des Nullpunktes der gewöhnlichen Celsiusskala.

zu erhitzen, so geschieht dies in der Weise, daß man abwechselnd verschiedene Teile des Heizgutes durch den Lichtbogen bestrahlen läßt, sei es, indem man die Schmelzmasse vor dem Lichtbogen vorbeiführt, bezw. vorbeirollen oder vorbeifließen läßt, sei es, daß man das Elektrodenpaar beweglich anordnet und bald den einen, bald den anderen Teil des Schmelzgutes mit dem Lichtbogen bestrahlt.

Auf die Möglichkeit, Lichtbögen zwischen den in der Kälte nicht leitenden Elektroden, also z. B. zwischen zwei Stangen aus Gemengen von Erden (Kalk, Magnesia usw.) zu erzeugen, wies Rasch¹⁾ hin.

Heizung durch
Induktion

Schließlich gibt es eine Art Widerstandsöfen, zu denen der Strom nicht direkt zugeführt wird, sondern in welchen der Strom durch die induzierende Wirkung hochgespannter Wechselströme erst erzeugt wird. Diese Induktionsöfen²⁾, die also keine Stromzuführungen (Elektroden) besitzen, haben eine gewisse Bedeutung bei der Stahlerzeugung erlangt; sie kommen jedoch für die hier zu behandelnden Industriezweige zurzeit nicht in Betracht.

Indirekte Um-
wandlung der
Elektrizität in
Wärme.

Alle hier beschriebenen Arten, auf welche man mit Elektrizität Heizwirkungen erzeugen kann, beruhen darauf, daß der elektrische Strom einen festen, flüssigen oder gasförmigen „Widerstand“ zu durchfließen hat, wobei dieser sich erhitzt. Neben dieser sozusagen direkten Umwandlung der Elektrizität in Wärme gibt es noch Möglichkeiten, hohe Hitzegrade durch Elektrizität in der Weise zu erzielen, daß man mittels derselben vorerst Wasser in dessen gasförmige Bestandteile zersetzt und den dabei gewonnenen Sauerstoff und Wasserstoff verbrennen läßt. Trotz dieser Umständlichkeit hat diese indirekte Umwandlung der Elektrizität in Wärme bereits eine gewisse technische Bedeutung erlangt, und manche, wenn auch enge Gewerbebezweige, die an geeigneter Stelle noch ausführlicher behandelt werden sollen, sind auf die Anwendung der Sauerstoff-, Wasserstoff- (oder Knallgas-)Feuerung direkt angewiesen.

1) Z. f. Elektroch. 1903, S. 162; Elektrotechn. Zeitschr. 1901, S. 7.

2) Näheres über Induktionsöfen findet man in einer zusammenfassenden Arbeit von V. Engelhardt in der Elektrotechn. Zeitschr. 1907, Nr. 44 bis 47, und in dem von ihm herrührenden Handb. d. Elektrotechnik, Bd. XI₂. Herausgegeben von Heinke. Im übrigen sei hier noch verwiesen auf das vortreffliche Buch von W. Borchers: Die elektrischen Öfen. Erzeugung von Wärme aus elektrischer Energie und Bau elektrischer Öfen. Verlag von Wilhelm Knapp, Halle a. S. 1907.

Zersetzt man mittels des elektrischen Stromes statt Wasser gewisse Erden, so erhält man die betreffenden Metalle, z. B. aus Kalk Kalzium, aus Tonerde Aluminium. Wie H. Goldschmidt nun bewiesen hat, lassen sich durch Verbrennung des Aluminiums in Gegenwart von Sauerstoffverbindungen, z. B. Eisenoxyd, außerordentlich hohe Temperaturen erzeugen. Auch dieses Verfahren (Thermitverfahren) findet gewerbliche Verwendung¹⁾.

1) Näheres über das Thermitverfahren: H. Danneel, Z. f. Elektroch. 1903, S. 119.

. Ü b e r i i i t i c h k i t d e r T .

Unterschied
zwischen Glas-
waren und
keramischen
Erzeugnissen.

Trotzdem die Erzeugnisse der verschiedenen keramischen Gewerbe in ihrer chemischen (elementaren) Zusammensetzung sich vielfach nur unerheblich von Glaswaren unterscheiden — enthalten sie doch alle als ihren wesentlichsten Bestandteil die Kieselsäure —, so ist man doch in der Lage, diese beiden großen Gruppen von Erzeugnissen schärfer voneinander zu trennen, als es sonst in der Technologie meistens der Fall ist.

Das Unterschiedsmerkmal beruht auf der Verschiedenheit in der Art und Weise der Formgebung der uns interessierenden Erzeugnisse: sämtliche Glasgegenstände, so verschieden sie im Aussehen, in der Zusammensetzung und in der Herstellungsweise untereinander auch sein mögen, werden aus einer feuerflüssigen Masse, sei es durch Blasen, Gießen, Pressen, Walzen oder Ziehen gefertigt. Die Formgebung beruht hier auf der Bildsamkeit der im Erstarren begriffenen Glasmasse. Bei allen Erzeugnissen der keramischen Gewerbe findet die Formgebung im kalten Zustande, vor dem Brennen statt, und sie beruht auf einer besonderen Eigenschaft — der „Plastizität“ — der feuchten Tongemenge, auf die noch näher eingegangen werden soll. Da die Tone nur in Gegenwart von Wasser „plastisch“ sein können, so kommt diese Eigenschaft der Tone, selbst wenn tonige Bestandteile zur Herstellung des Glasgemenges verwendet werden, bei der Glasfabrikation nicht zur Geltung.

Plastizität der
Tone.

Unter Plastizität der mit dem Sammelnamen Ton bezeichneten Gesteinsarten versteht man die Eigentümlichkeit dieser Gesteinsarten, Wasser in genügender Menge aufzunehmen, um damit eine formbare und knetbare Masse zu bilden, die eine ihr einmal gegebene Form auch späterhin beim Trocknen und Brennen behält.

In bezug auf ihre chemische Zusammensetzung weisen die Tone einen sehr wechselnden Gehalt an einzelnen Elementarstoffen auf, und ihr wesentlichstes gemeinsames Merkmal besteht in einem mehr oder weniger erheblichen Gehalt an einem Tonerdesilikat von der

Zusammensetzung Al_2O_3 , $2SiO_2 + 2H_2O$, welches in keinem der Tone fehlt.

Wenn auch für das Auftreten der Plastizität die Gegenwart dieses Silikates, wie es scheint, unerlässlich ist, so hängt der Grad der Plastizität weniger von dem prozentualen Gehalte des Tones an der Verbindung Al_2O_3 , $2SiO_2 + 2H_2O$, als von dem physikalisch-chemischen Aggregatzustande ab, in dem sich diese Verbindung befindet.

Man nimmt an, daß dieser eigentümliche plastische Zustand durch geologische Prozesse bedingt ist, die die betreffenden Tonarten durchgemacht hatten. Tone, die am Orte ihrer Entstehung liegen geblieben sind (primäre Tonlager), weisen trotz ihrem in vielen Fällen hohen Gehalte an Tonerdesilikat einen nur geringen Grad von Plastizität auf (zu solchen sehr wenig plastischen Tönen gehört z. B. Kaolin oder Porzellanerde); dagegen solche Lagerstätten, die erst durch Aufschwemmung sich gebildet haben (sekundäre, tertiäre Lager), zeigen oft selbst bei weit geringerem Gehalte an „Tonsubstanz“ hervorragende Plastizität. Wenn man auch noch sehr im unklaren über die Ursachen der Plastizität ist, so hat man doch bis zu einem gewissen Grade in der Hand, die Plastizität eines Tones durch Mahlen, Schlämmen, Versetzen mit katalytisch und dissoziierend wirkenden Substanzen und durch darauffolgendes, monate- oder gar jahrelanges Lagern¹⁾ („Faulen“) zu steigern. Auf diese Weise wird z. B. durch Versetzen eines Gemenges, bestehend aus gänzlich unplastischem Quarz und sehr wenig plastischem Kaolin mit dem

1) Die Erteilung des D. R. P. 153513 an Acheson mit dem Patentansprüche „Verfahren zur Herstellung haltbarer, zum Schwinden oder Werfen wenig neigender Tonwaren, dadurch gekennzeichnet, daß man das Rohmaterial mit Tannin oder anderen gerbstoffhaltigen Stoffen behandelt“, gab Veranlassung, dem „Faulen“ der Tone besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Versuche in der Chemisch-Technischen Versuchsanstalt und im Tonindustrie-Laboratorium ergaben in der Tat, daß durch die Gegenwart organischer Substanzen das Plastischwerden des lagernden Tones bedeutend gefördert wird. Vergl. J. Koerner (Mitteil. aus der Chem.-Techn. Versuchsanstalt) „Über künstliche Vermehrung der Plastizität der Tone“, Sprechsaal 1903, Nr. 47, und D. R. P. 201404 von Keppeler und Spangenberg: „Erhöhung der Plastizität von Tönen durch Zusatz von Gerbsäure und Alkalien.“

Mit demselben Gegenstande beschäftigte sich P. Rohland, indem er die Ursachen der Plastizität auf Grund der Dissoziationslehre untersuchte. Sprechsaal 1904, Nr. 16 u. 17; 1905, Nr. 16 bis 19, 38, 39, 43; 1906, Nr. 4 u. 42; 1907, Nr. 25; sowie Handb. d. anorg. Chemie von Abegg, Bd. III, Abt. I.

wiederum gänzlich unplastischen Feldspat die sehr plastische und leicht verarbeitungsfähige „Porzellanmasse“ gewonnen.

Verhalten der
Tone im Feuer.

Für die Beurteilung der Frage, ob und eventuell zur Herstellung von welchen Tonwaren ein Ton verwendet werden kann, ist neben der Plastizität noch das Verhalten des Tones im Feuer maßgebend. Auch über die Feuerfestigkeit eines Tones lassen sich durch Ermittlung der elementaren Zusammensetzung desselben keine sicheren Schlüsse ziehen, und zwar deshalb nicht, weil die Tone nie aus einer einheitlichen chemischen Verbindung und nicht einmal aus einem homogenen Gemische von mehreren Verbindungen (wie es z. B. bei Lösungen, Legierungen und Gläsern der Fall sein kann), sondern aus einem mechanischen gröberen oder feineren Gemenge ganz heterogener Substanzen bestehen. Beginnt eine dieser Substanzen beim Erhitzen des Tones frühzeitig zu schmelzen, so hängt es von der Größe der Berührungsflächen zwischen den einzelnen feuerfesten Partikelchen des Tonkörpers ab, ob sie nun im größeren oder geringeren Maße von dem schmelzenden Bestandteile (Flußmittel), der sowohl lediglich als Kitt wie auch als Lösungsmittel auftreten kann, in Mitleidenschaft gezogen werden. Von welchem Einflusse die Korngröße und die sonstige äußere Beschaffenheit der einzelnen Bestandteile auf das Verhalten des Gemenges im Feuer ist, geht aus Brogniarts¹⁾ Versuchen hervor, chinesisches Porzellan herzustellen: er bereitete auf Grund von Analysen des chinesischen Porzellans Massen aus entsprechenden Mengen reiner Chemikalien (Kieselsäure, Tonerde, Alkalien usw.), die er an Stelle von Mineralien nahm, und erhielt nach dem Brennen im Porzellanfeuer kein Porzellan, sondern eine völlig geschmolzene weiße Emaille.

Verarbeitung
der Tonmassen

Die Herstellung von Tonwaren geht nun in der Weise vor sich, daß die durch entsprechende Aufbereitung hergestellte plastische Masse zu den gewünschten Gegenständen verformt, getrocknet und dann gebrannt wird. Das Formen geschieht entweder auf der sogen. Drehscheibe oder durch Modellieren aus freier Hand mit Hilfe von Schablonen oder aber durch Gießen. Das Gießen kann nur mit dünnflüssigen Massen vorgenommen werden und war bis vor ganz kurzer Zeit nur in der Feinkeramik üblich. Ein Porzellanarbeiter soll es gewesen sein, der Ende der 70er Jahre die Beobachtung gemacht hatte, daß ein Zusatz ganz geringer Mengen von Alkalien genügt, um die Porzellanmasse vorübergehend gießfähig

¹⁾ Segers gesammelte Schriften (Verlag d. Tonindustrie-Ztg.), S. 38; die Seitenzahl bezieht sich stets auf die erste Auflage (1896) Segers Schriften, die inzwischen im Neudruck erschienen sind.

zu machen. Neuerdings beginnt man auch, gröbere Waren nach dem Gießverfahren¹⁾ herzustellen.

Nach dem Formen folgt das Trocknen, das bei dünnwandigen Gegenständen schnell, bei starkwandigen aber recht langsam vor sich geht. Die lufttrockenen Gegenstände werden in die kalte Brennkammer gebracht, die Zugänge werden zugemauert und man beginnt mit dem Anheizen; hierbei treten die Verbrennungsgase und Flammen in die Brennkammer ein und umspülen das Brenngut (Töpferwaren, feuerfeste Steine, Tonwaren für die chemische Großindustrie usw.). Porzellanwaren werden nach dem Trocknen zuerst bei 700 bis 800 ° „verglüht“, darauf mit Glasur bedeckt und dann erst „glattgebrannt“. Nur solche Waren, bei denen auf die äußere Färbung viel Wert gelegt wird (Porzellan, Fayence) werden vor direkter Berührung mit den Feuergasen durch Einsetzen in „Kapseln“ (gut aufeinander passende zylindrische Tongefäße) geschützt. Durch Einführung von Kapseln, die aufeinander gestellt werden und ihren Inhalt gegenseitig und von der Ofenatmosphäre abschließen, wird jede Ofenkammer in eine große Anzahl von unabhängigen Zellen zerlegt, wodurch die verhältnismäßige Sparsamkeit der direkten Beheizung mit den Vorzügen (Sauberkeit, geringere Abhängigkeit von den chemischen Einwirkungen der Ofengase, Temperaturngleichung) der indirekten Erhitzung in recht glücklicher Weise miteinander vereinigt werden. Mit dem Brennen der Ware (die mit Glasur versehenen Porzellangegegenstände werden also zweimal [Roh- und Glattbrand], das übermalte Porzellan [Überglasurmalerei] dreimal gebrannt) ist auch die letzte Fabrikationsphase beendet, und die aus dem Ofen herauskommenden Gegenstände gelangen in das Fabriklager oder müssen im Falle des Mißlingens beim Brennen zerstampft werden. Mitunter kann die Stampfmasse zum Versetzen von neuer Rohmasse verwendet, oft aber muß sie als ganz wertlos weggeschafft werden. Über die Klassifikation und Benennung der hergestellten Waren nach den Gattungen: Steingut, Steinzeug, Weichporzellan, Hartporzellan usw., ist man sich auch in den engeren fachmännischen Kreisen²⁾

Enteileung der
keramischen
Erzeugnisse.

1) E. Weber, „Die Herstellung von Glashäfen durch Gießen“, Sprechsaal 1905, S. 123, 255; 1908, S. 258, 328. Über die hierfür nötigen Alkalimengen vergl. die Mitteil aus d. Chem.-Techn. Versuchsanstalt bei der Porzellanmanufaktur in Charlottenburg von Dr. M. Simonis im Sprechsaal 1905, Bd. 38, Nr. 15, 22, 31; vergl. außerdem M. Simonis, „Weitere Beiträge zum Verhalten von Tonen und Magerungsmitteln gegen Elektrolyten“, Sprechsaal 1906, Bd. 39, Nr. 28 u. 29.

2) Vergl. den Aufsatz: „Zur Benennung keramischer Erzeugnisse“, von Dr. K. Wilkens, Direktor der Firma Villeroy & Boch in Dresden,

nicht immer einig, da jeder der keramischen Gewerbe-
zweige so sehr das eigene Gebiet auszudehnen bestrebt ist,
daß sie oft nicht nur sich eng aneinander anschließen,
sondern vielfach in-
einander hinübergreifen. Für die Herstellungsart der Ware,
für die Wahl der Rohmaterialien und für die Zusammensetzung
der Masse, ist vor allem der Umstand ausschlaggebend,
ob der Scherben der anzufertigenden Waren an der Bruchfläche
porös, saugend sein kann, oder ob er dicht, nichtsaugend,
glasig sein soll. Porzellan und einige Steinzeugwaren
haben einen glasigen Scherben, dessen Porosität gleich Null
ist; die anderen Tonwaren sind fast durchweg porös,
und falls sie wasserundurchlässig sein sollen, so werden
sie durch eine Glasurschicht oder gar Emailleschicht
überzogen. Bei dünnwandigen Gegenständen läßt sich
die Beschaffenheit des Scherbens in der Weise erkennen,
daß man sie gegen Licht betrachtet. Beim glasigen
Scherben ist der betreffende Gegenstand durchscheinend
(z. B. Porzellanteller); bei starkwandigen Gegenständen
aber läßt sich ein sicheres Urteil oft erst durch Betrachtung
und Porositätsprüfung der Bruchfläche des Gegenstandes
gewinnen, indem man dieselbe mit einem Tropfen Tinte
betupft. Im übrigen wird auch Porzellan, trotzdem
dessen Scherben wasser- und sogar gasdicht ist, in den
meisten Fällen mit einer Glasurschicht versehen, da die
unglasierte Porzellanoberfläche etwas rauh und daher schwer
zu säubern ist.

Wirtschaftliche
und technische
Bedeutung des
Porzellans

Die Auffindung des Porzellans oder, allgemeiner gefaßt,
von Tonwaren mit verglastem Scherben hat nicht nur, wie
manchmal behauptet wird, ein neues Kunstgebiet und
Kunstgewerbe-
zweig erschlossen, der Hauptwert dieser Erfindung ist
vielmehr dadurch bedingt, daß die mechanische Festigkeit
und die Widerstandsfähigkeit gegen Temperaturwechsel
durch das Glasigwerden des Scherbens außerordentlich
zunimmt. Diese ausgezeichnete Eigenschaft gelangt
um so mehr zur Geltung, als die Wandstärke des Porzellans
infolge seiner großen mechanischen Festigkeit viel geringer
gehalten werden kann, und der Wärmeausgleich daher
viel schneller vor sich geht. Dank diesen wertvollen
Eigenschaften eroberte das Porzellan nicht nur das sehr
weite Anwendungsgebiet der Haushaltungsgerätschaften,
sondern wird immer mehr und mehr ein unentbehrliches
Hilfsmittel der Technik und des Verkehrswesens. Es sei
nur daran erinnert, daß trotz seiner relativen Kostspieligkeit
kein einziges Material so

Sprechsaal 1903, S. 847, in dem für folgende Stichworte
Definitionen vorgeschlagen werden: Tonige Masse, gemeines
Steinzeug, gesintertes Tonzeug, gemeines Tonzeug,
feuerfestes Tonzeug, Tongut, Schmelzgut oder gemeine
Fayence, feines Tonzeug, Steingut, Hartsteingut, feines
Steingut.

breite Anwendung für elektrische Hochspannungsisolatoren und für Träger der Telephon- und Telegraphendrähte aufzuweisen hat, wie gerade Porzellan¹⁾.

Bedenkt man, daß das Glasigwerden eines mechanischen Gemenges nur bei völligem Erweichen und völligem gegenseitigen „Sich-Auflösen“ sämtlicher Bestandteile vor sich geht, und wie schnell solche erweichten Massen unter ihrem eigenen Druck zerfließen, so erscheint es als eine wahre Kunst, einen Ofen voll Brenngut, das man nicht einmal sehen kann, da es sich in den Kapseln befindet, derartig zu leiten, daß auch die zarten Modellierfeinheiten genau erhalten bleiben. Hieraus kann man ersehen, wie genau der Brennmeister mit dem Gang seines Ofens vertraut sein und die jeweilige Temperatur im Ofen schätzen muß. Selbst das geübte Auge reicht jedoch zur sicheren Überwachung der hohen Temperaturen des Porzellanfeuers (1300 bis 1500^o) nicht mehr aus, und schon um das Jahr 1875 herum wurden von Seger, sowie unabhängig von ihm auf einigen Werken, an einer von außen sichtbaren Stelle des Brennofens feldspat- und kaolinhaltige Probekörper eingesetzt, um durch die Beobachtung des Zeitpunktes des Niederschmelzens dieser Probekörper ein sicheres Zeichen zu haben, daß der gewünschte Hitze-grad nun erreicht worden ist. Auch damals war man sich schon klar, von welch hoher Bedeutung für die keramische Technik sichere Anhaltspunkte über die jeweilige, im Ofen herrschende Temperatur sein könnten. Mit einem solchen Hinweis beginnt die folgende, 1885 erschienene Abhandlung Segers über: „Pyrometer und Messung hoher Temperaturen. — Normalkegel“:

„Wenn irgendeine Industrie, so erfordert die Tonwarenindustrie ein genaueres Einhalten der Temperatur. Um z. B. Glas oder Eisen zu schmelzen, muß ein gewisses Minimum erreicht werden, ein Überschreiten desselben ist aber in den meisten Fällen nicht von erheblichem Schaden, sondern bringt vielmehr nur eine schnellere Wirkung des Feuers zuwege. Zum Brennen von Tonwaren hingegen ist nicht nur ein bestimmtes Minimum der Temperatur erforderlich (sonst erscheint Schwachbrand), es darf auch ein gewisses Maximum nicht überschritten werden, weil sie sonst die Form verlieren, Farbe einbüßen, Dichtigkeit verändern und dergl. Vielfach liegen nun bei den Tonwaren diese beiden Temperaturgrade, ziemlich nahe bei-

Wichtigkeit,
hohe Tempera-
turen messen
zu können

1) Vergl. die reichhaltige Monographie: Das Porzellan als Isolier- und Konstruktionsmaterial in der Elektrotechnik (mit besonderer Berücksichtigung des Leitungsbaues). Im Auftrage der Porzellanfabrik Hermsdorf-Klosterlausnitz herausgegeben von R. Friese. Bei Springer, 1905.

einander. Bei kalkhaltigen Tonen z. B. bringt ein geringes Überschreiten der zulässigen Temperatur sofort Schmelz hervor. Es war nun bislang Aufgabe des Brenners, die Temperatur mit den Augen zu schätzen; aber auch bei den geubtesten Brennern können Irrtümer vorkommen, ihr Auge ist nicht an allen Tagen gleich disponiert, zudem spielt die äußere Beleuchtung bei der Glutfarbe eine außerordentliche Rolle; diese ist bei hellem Wetter anders als bei trübem und anders als bei Nacht. Welche anderen Mittel gibt es nun, höhere Hitzegrade zu bestimmen?“

Segers
Normalkegel.

Nach Segers Mitteilung kamen 1885 hierfür nur zwei Methoden in Betracht: die Kalorimeterprüfung von Fischer und die Messung des elektrischen Leitungswiderstandes von Siemens¹⁾. Weder die eine, noch die andere dieser Methoden war jedoch einfach genug, um in den Tonwarenfabriken eingeführt zu werden; auch war ihr Meßbereich nicht weit genug, um für Bestimmungen der Feuerfestigkeit der Tone angewendet zu werden. Seger schritt daher zur Aufstellung einer pyrometrischen Skala für keramische Betriebe, indem er eine Anzahl mit laufenden Nummern bezeichneter tonhaltiger Massen derartig zusammensetzte, daß beim Erhitzen jede mit nachfolgender Nummer bezeichnete Masse etwas später als die vorgehende Nummer niederging. Wie er dabei ausdrücklich hervorhob, lag es ihm völlig fern, seine Kegelskala mit der Celsiusskala in Verbindung zu bringen; er wies vielmehr darauf hin, daß die Anwendung der Normalkegel „ein analoges Verfahren sein würde, wie die Messung des Lichtes durch Normalkerzen, d. h. Lichtkerzen von ganz bestimmten Dimensionen, bestimmter Konstruktion des Dochtes, von bestimmtem Verbrauch der die Verbrennung unterhaltenden Stoffe in der Zeiteinheit. Das Licht derartiger, immer in gleicher Weise, an derselben Stelle hergestellter Kerzen bildet für die Messung die Einheit; hier würde es sich darum handeln, aus

1) Der Kalorimeter von Fischer besteht aus einem massiven Stück Eisen oder Platin, das im Ofenfeuer 10 bis 15 Minuten gehalten und dann glühend in eine abgemessene Menge Wasser geworfen wird. Aus der dabei stattfindenden Erwärmung des Wassers kann man die Temperatur des Ofens berechnen.

Die Methode von Siemens beruht auf der Vergrößerung des elektrischen Widerstandes des Platins (wie auch fast aller Metalle und Legierungen) bei steigender Temperatur. Eine Platindrahtschlinge von bekanntem Widerstand wird in den Ofen so eingeführt, daß die beiden Drahtenden außerhalb des Ofens bleiben und an die elektrischen Meßinstrumente angeschlossen werden können. Aus der Größe der Widerstandsveränderung wird die Temperatur des Ofens berechnet.

denselben Rohmaterialien bestimmte Glasuren von möglichst gleichmäßiger Zusammensetzung an derselben Stelle herzustellen und den Schmelzpunkt dieser für die Bestimmung der erreichten Temperaturen im Ofen zu benutzen“.

Sehr schön setzt dabei Seger¹⁾ auseinander, warum er hierzu rohe Tonmassen und nicht, wie es scheinbar zweckmäßiger wäre²⁾, fertige Glasuren oder gar Gläser, die bei den gewünschten Temperaturen erweichen, anwendet: „Weil es unmöglich ist, die für die Herstellung derselben benutzten Rohmaterialien beim Einschmelzen gegen den Angriff der Tiegel, in welchen sie eingeschmolzen werden müssen, zu schützen, anderseits, weil bei deren Herstellung viel Alkali verflüchtigt wird. Nach den Angaben von Stein beträgt der Alkaliverlust beim Glasschmelzen 16 0/0, nach Splittgerber sogar 11 bis 40 0/0; es würden demnach niemals Körper von gleicher Zusammensetzung und damit gleichem Schmelzpunkte herzustellen sein. Von der Verwendung borsäure- und bleioxydhaltiger Glasuren wurde vor der Hand gleichfalls abgesehen. Auch haben Kegel aus geschmolzenen Gläsern die Eigenschaft, langsam zu erweichen. Die Verflüssigung derselben tritt ganz allmählich ein, die Formveränderung verteilt sich auf einen ziemlich großen Zeitraum, die Bestimmung der Temperatur wird damit unsicher; dazu kommt noch der Umstand hinzu, daß viele Gläser bei der langsamen Erhitzung, die sie in den Öfen der Tonwarenindustrie erfahren, entglasen, d. h. kristallinische Teile ausscheiden. Ich wählte demnach die Bestandteile, welche im großen zur Herstellung von Porzellanglasuren dienen, also Feldspat, kohlensaurer Kalk, Quarz und Kaolin.“ Die Analyse der verwendeten Materialien ergab:

	Nörstrand- feldspat Prozent	Zettlitzer Kaolin Prozent	Norwegischer Quarz Prozent	Karranscher Marmor Prozent
Kieselsäure (SiO_2)	64,32	46,87	98,52	1,00
Tonerde (Al_2O_3)	19,41	38,56	1,04	} 0,12
Eisenoxyd (Fe_2O_3)	0,14	0,83	0,04	
Kalk (CaO)	Spur	Spur	—	55,14
Bittererde (MgO)	0,35	—	—	—
Kali (K_2O)	12,90	} 1,06	0,40	—
Natron (Na_2O)	2,10		—	—
Glühverlust	0,57	12,73	—	—
Kohlensäure (CO_2)	—	—	—	43,76
	99,74	100,05	100,00	100,02

1) Segers Gesammelte Schriften, S. 181.

2) Vergl. hierzu das D. R. P. 197698 (Chemisches Laboratorium für Tonindustrie), Verfahren zur Messung hoher Temperaturen mit Hilfe keramischer Schmelzkörper.

Im Feldspat war mithin das molekulare Verhältnis zwischen Flußbasen: Tonerde und Kieselsäure = 1 : 1,09 : 6,19, gegenüber dem theoretischen Verhältnis 1 : 1 : 6 und im Zettlitzer Kaolin war das molekulare Verhältnis der Erden ($Al_2O_3 + Fe_2O_3$) zu Kieselsäure 1 : 2,08 statt des theoretischen 1 : 2.

Diese Materialien wurden als chemisch reine Substanzen betrachtet, also die theoretischen Verhältniszahlen bei der Berechnung der Zusammensetzung der Tonwaren zugrunde gelegt.

Die Herstellung der Kegel geschah in der Weise, daß die abgewogenen Rohmaterialien, mit Wasser versetzt, behufs inniger Mischung einen halben Tag in kleinen Porzellankugelmøhlen gemahlen wurden, und der nach dem Abziehen einer möglichst großen Wassermenge eingetrocknete Schlamm wurde dann mit Gummivasser energisch geschlagen. Daraus wurden Tetraeder von 6 cm Höhe und 1,5 cm Seitenkante der Basis geformt. Auf S. 29 bis 31 sind die Zusammensetzung und Bestandteile der Segerschen Kegel ausführlich wiedergegeben, um auf diese Weise einen Überblick über die Beziehungen der chemischen Zusammensetzung zur Feuerfestigkeit keramischer Massen zu gewähren. Der Kegel 1 ist so zusammengesetzt, daß er bei dem Schmelzpunkt der Legierung von 90 Teilen Gold und 10 Teilen Platin (1145 ° C.) umbiegt. Dem Verhalten der Segerkegel entspricht annähernd auch das Verhalten der Tonwaren von der nämlichen Zusammensetzung, vorausgesetzt, daß die für die betreffenden Tonwaren verwendete „Masse“ als homogen angesehen werden kann. Bei grobkörnigen Schamottewaren tritt dagegen eine wesentliche Verschiebung in den Schmelzerscheinungen ein (vergl. S. 22).

Zusammensetzung der Segerkegel

Im Anschluß an diese Kegel stellten Segers Mitarbeiter E. Cramer und H. Hecht, den Bedürfnissen der Ziegelindustrie entsprechend, die leicht schmelzenden Kegel 022 bis 01 her. Die Kegelreihe 022 bis 011 war bleioxyd- und borsäurehaltig, die darauf folgende Reihe 010 bis 01 schloß sich ihrer Zusammensetzung nach an die eigentlichen Segerkegel enger an und wich von diesen nur durch den Borsäuregehalt ab. Die bleihaltigen Kegel waren für reduzierende Gase empfindlich, sie blähten sich dabei auf, so daß ihr Schmelzpunkt dann nicht immer erkennbar war. Neuerdings gelang es M. Simonis¹⁾, für die Kegel 021 bis 011 geeignete bleioxydfreie Massen herzustellen, die stetigere Schmelzerscheinungen

1) Sprechsaal 1908, S 41 (Mitt d. Chem.-Techn. Versuchsanstalt).

Kegel Nr	Chemische Formel	Zusammensetzung	Die zuverlässigsten Schmelzpunkts- bestimmungen
1	$\left. \begin{matrix} 0,3 K_2O \\ 0,7 CaO \end{matrix} \right\} \left. \begin{matrix} 0,2 Fe_2O_3 \\ 0,3 Al_2O_3 \end{matrix} \right\} 4 SiO_2$	Feldspat 83,55 Marmor 35,00 Quarz 60,00 Eisenoxyd 16,00	
2	$\left. \begin{matrix} 0,3 K_2O \\ 0,7 CaO \end{matrix} \right\} \left. \begin{matrix} 0,1 Fe_2O_3 \\ 0,4 Al_2O_3 \end{matrix} \right\} 4 SiO_2$	Feldspat 83,55 Marmor 35,00 Quarz 60,00 Eisenoxyd 8,00 Zettlitzer Kaolin . 12,95	
3	$\left. \begin{matrix} 0,3 K_2O \\ 0,7 CaO \end{matrix} \right\} \left. \begin{matrix} 0,05 Fe_2O_3 \\ 0,45 Al_2O_3 \end{matrix} \right\} 4 SiO_2$	Feldspat 83,55 Marmor 35,00 Quarz 57,00 Eisenoxyd 4,00 Zettlitzer Kaolin . 19,43	
4	$\left. \begin{matrix} 0,3 K_2O \\ 0,7 CaO \end{matrix} \right\} 0,5 Al_2O_3, 4 SiO_2$	Feldspat 83,55 Marmor 35,00 Quarz 54,00 Zettlitzer Kaolin . 25,90	
5	$\left. \begin{matrix} 0,3 K_2O \\ 0,7 CaO \end{matrix} \right\} 0,5 Al_2O_3, 5 SiO_2$	Feldspat 83,55 Marmor 35,00 Quarz 84,00 Zettlitzer Kaolin . 25,90	
6	$\left. \begin{matrix} 0,3 K_2O \\ 0,7 CaO \end{matrix} \right\} 0,6 Al_2O_3, 6 SiO_2$	Feldspat 83,55 Marmor 35,00 Quarz 108,00 Zettlitzer Kaolin . 38,85	
7	$\left. \begin{matrix} 0,3 K_2O \\ 0,7 CaO \end{matrix} \right\} 0,7 Al_2O_3, 7 SiO_2$	Feldspat 83,55 Marmor 35,00 Quarz 132,00 Zettlitzer Kaolin . 51,80	
8	$\left. \begin{matrix} 0,3 K_2O \\ 0,7 CaO \end{matrix} \right\} 0,8 Al_2O_3, 8 SiO_2$	Feldspat 83,55 Marmor 35,00 Quarz 156,00 Zettlitzer Kaolin . 64,75	
9	$\left. \begin{matrix} 0,3 K_2O \\ 0,7 CaO \end{matrix} \right\} 0,9 Al_2O_3, 9 SiO_2$	Feldspat 83,55 Marmor 35,00 Quarz 180,00 Zettlitzer Kaolin . 77,70	
10	$\left. \begin{matrix} 0,3 K_2O \\ 0,7 CaO \end{matrix} \right\} 1,0 Al_2O_3, 10 SiO_2$	Feldspat 83,55 Marmor 35,00 Quarz 204,00 Zettlitzer Kaolin . 90,65	
11	$\left. \begin{matrix} 0,3 K_2O \\ 0,7 CaO \end{matrix} \right\} 1,2 Al_2O_3, 12 SiO_2$	Feldspat 83,55 Marmor 35,00 Quarz 252,00 Zettlitzer Kaolin . 116,55	
12	$\left. \begin{matrix} 0,3 K_2O \\ 0,7 CaO \end{matrix} \right\} 1,4 Al_2O_3, 14 SiO_2$	Feldspat 83,55 Marmor 35,00 Quarz 300,00 Zettlitzer Kaolin . 142,45	

Diese Kegel sind jetzt durch die neuen Kegel 1a — 6a ersetzt worden.
 Die letzteren schmelzen bei folgenden Temperaturen:

1a	1100°
2a	1120°
3a	1140°
4a	1160°
5a	1180°
6a	1200°

Differenz $-0,05 Fe_2O_3 + 0,05 Al_2O_3$
 Differenz $0,1 Al_2O_3 + 1 SiO_2$
 Differenz $0,1 Al_2O_3 + 1 SiO_2$
 Differenz $0,1 Al_2O_3 + 1 SiO_2$
 Differenz $0,2 Al_2O_3 + 2 SiO_2$

Kegel Nr.	Chemische Formel	Zusammensetzung	Die zuverlässigsten Schmelzpunkts- bestimmungen
13	$0,3 K_2O \setminus 1,6 Al_2O_3, 16 SiO_2$ $0,7 CaO \setminus$	Feldspat 83,55 Marmor 35,00 Quarz 348,00 Zettlitzer Kaolin . 168,35	$\left. \begin{array}{l} \text{Differenz } 0,2 SiO_2 \\ 0,2 Al_2O_3 + 2 SiO_2 \end{array} \right\} 1380^\circ$
14	$0,3 K_2O \setminus 1,8 Al_2O_3, 18 SiO_2$ $0,7 CaO \setminus$	Feldspat 83,55 Marmor 35,00 Quarz 396,00 Zettlitzer Kaolin . 194,25	$\left. \begin{array}{l} \text{Differenz } 0,2 Al_2O_3 + 2 SiO_2 \\ 0,2 Al_2O_3 + 2 SiO_2 \end{array} \right\} 1410^\circ$
15	$0,3 K_2O \setminus 2,1 Al_2O_3, 21 SiO_2$ $0,7 CaO \setminus$	Feldspat 83,55 Marmor 35,00 Quarz 468,00 Zettlitzer Kaolin . 233,10	$\left. \begin{array}{l} \text{Differenz } 0,3 SiO_2 \\ 0,3 Al_2O_3 + 3 SiO_2 \end{array} \right\} 1435^\circ$
16	$0,3 K_2O \setminus 2,4 Al_2O_3, 24 SiO_2$ $0,7 CaO \setminus$	Feldspat 83,55 Marmor 35,00 Quarz 540,00 Zettlitzer Kaolin . 271,95	$\left. \begin{array}{l} \text{Differenz } 0,3 Al_2O_3 + 3 SiO_2 \\ 0,3 Al_2O_3 + 3 SiO_2 \end{array} \right\} 1460^\circ$
17	$0,3 K_2O \setminus 2,7 Al_2O_3, 27 SiO_2$ $0,7 CaO \setminus$	Feldspat 83,55 Marmor 35,00 Quarz 612,00 Zettlitzer Kaolin . 310,80	$\left. \begin{array}{l} \text{Differenz } 0,3 SiO_2 \\ 0,3 Al_2O_3 + 3 SiO_2 \end{array} \right\} 1480^\circ$
18	$0,3 K_2O \setminus 3,1 Al_2O_3, 31 SiO_2$ $0,7 CaO \setminus$	Feldspat 83,55 Marmor 35,00 Quarz 708,00 Zettlitzer Kaolin . 362,60	$\left. \begin{array}{l} \text{Differenz } 0,4 SiO_2 \\ 0,4 Al_2O_3 + 4 SiO_2 \end{array} \right\} 1500^\circ$
19	$0,3 K_2O \setminus 3,5 Al_2O_3, 35 SiO_2$ $0,7 CaO \setminus$	Feldspat 83,55 Marmor 35,00 Quarz 804,00 Zettlitzer Kaolin . 414,40	$\left. \begin{array}{l} \text{Differenz } 0,4 Al_2O_3 + 4 SiO_2 \\ 0,4 Al_2O_3 + 4 SiO_2 \end{array} \right\} 1520^\circ$
20	$0,3 K_2O \setminus 3,9 Al_2O_3, 39 SiO_2$ $0,7 CaO \setminus$	Feldspat 83,55 Marmor 35,00 Quarz 900,00 Zettlitzer Kaolin . 466,20	$\left. \begin{array}{l} \text{Differenz } 0,4 SiO_2 \\ 0,4 Al_2O_3 + 4 SiO_2 \end{array} \right\} 1530^\circ$
21	$0,3 K_2O \setminus 4,4 Al_2O_3, 44 SiO_2$ $0,7 CaO \setminus$	Feldspat 83,55 Marmor 35,00 Quarz 1020,00 Zettlitzer Kaolin . 530,95	$\left. \begin{array}{l} \text{Differenz } 0,5 SiO_2 \\ 0,5 Al_2O_3 + 5 SiO_2 \end{array} \right\} 1548^\circ$
22	$0,3 K_2O \setminus 4,9 Al_2O_3, 49 SiO_2$ $0,7 CaO \setminus$	Feldspat 83,55 Marmor 35,00 Quarz 1140,00 Zettlitzer Kaolin . 595,70	$\left. \begin{array}{l} \text{Differenz } 0,5 Al_2O_3 + 5 SiO_2 \\ 0,5 Al_2O_3 + 5 SiO_2 \end{array} \right\} 1550^\circ$
23	$0,3 K_2O \setminus 5,4 Al_2O_3, 54 SiO_2$ $0,7 CaO \setminus$	Feldspat 83,55 Marmor 35,00 Quarz 1260,00 Zettlitzer Kaolin . 660,45	$\left. \begin{array}{l} \text{Differenz } 0,5 SiO_2 \\ 0,5 Al_2O_3 + 5 SiO_2 \end{array} \right\} 1555^\circ$
24	$0,3 K_2O \setminus 6 Al_2O_3, 60 SiO_2$ $0,7 CaO \setminus$	Feldspat 83,55 Marmor 35,00 Quarz 1404,00 Zettlitzer Kaolin . 738,15	$\left. \begin{array}{l} \text{Differenz } 0,6 SiO_2 \\ 0,6 Al_2O_3 + 6 SiO_2 \end{array} \right\} 1560^\circ$
25	$0,3 K_2O \setminus 6,6 Al_2O_3, 66 SiO_2$ $0,7 CaO \setminus$	Feldspat 83,55 Marmor 35,00 Quarz 1548,00 Zettlitzer Kaolin . 815,85	$\left. \begin{array}{l} \text{Differenz } 0,6 SiO_2 \\ 0,6 Al_2O_3 + 6 SiO_2 \end{array} \right\} 1566^\circ$

Die Kegel 21, 22, 23, 24 u. 25 werden nicht mehr hergestellt.

Kegel Nr.	Chemische Formel	Zusammensetzung	Die zuverlässigsten Schmelzpunktsbestimmungen
26	$\left. \begin{matrix} 0,3 K_2O \\ 0,7 CaO \end{matrix} \right\} 7,2 Al_2O_3, 72 SiO_2$	<div>Feldspat 83,55</div> <div>Marmor 35,00</div> <div>Quarz 1692,00</div> <div>Zettlitzer Kaolin . 893,55</div>	<div>Differenz</div> <div>$\left. \begin{matrix} 0,6 Al_2O_3 \\ 6 SiO_2 \end{matrix} \right\} 1580^0$</div>
27	$\left. \begin{matrix} 0,3 K_2O \\ 0,7 CaO \end{matrix} \right\} 20 Al_2O_3, 200 SiO_2$	<div>Feldspat 83,55</div> <div>Marmor 35,00</div> <div>Quarz 4764,00</div> <div>Zettlitzer Kaolin . 2551,13</div>	<div>Differenz</div> <div>$\left. \begin{matrix} 0,6 Al_2O_3 \\ 6 SiO_2 \end{matrix} \right\} 1610^0$</div>
28	$Al_2O_3, 10 SiO_2$	<div>Quarz 240,00</div> <div>Zettlitzer Kaolin . 129,50</div>	<div>Differenz</div> <div>$\left. \begin{matrix} 0,6 Al_2O_3 \\ 6 SiO_2 \end{matrix} \right\} 1630^0$</div>
29	$Al_2O_3, 8 SiO_2$	<div>Quarz 180,00</div> <div>Zettlitzer Kaolin . 129,50</div>	<div>Differenz</div> <div>$\left. \begin{matrix} 0,6 Al_2O_3 \\ 6 SiO_2 \end{matrix} \right\} 1650^0$</div>
30	$Al_2O_3, 6 SiO_2$	<div>Quarz 120,00</div> <div>Zettlitzer Kaolin . 129,50</div>	<div>Differenz</div> <div>$\left. \begin{matrix} 0,6 Al_2O_3 \\ 6 SiO_2 \end{matrix} \right\} 1670^0$</div>
31	$Al_2O_3, 5 SiO_2$	<div>Quarz 90,00</div> <div>Zettlitzer Kaolin . 129,50</div>	<div>Differenz</div> <div>$\left. \begin{matrix} 0,6 Al_2O_3 \\ 6 SiO_2 \end{matrix} \right\} 1690^0$</div>
32	$Al_2O_3, 4 SiO_2$	<div>Quarz 60,00</div> <div>Zettlitzer Kaolin . 129,50</div>	<div>Differenz</div> <div>$\left. \begin{matrix} 0,6 Al_2O_3 \\ 6 SiO_2 \end{matrix} \right\} 1710^0$</div>
33	$Al_2O_3, 3 SiO_2$	<div>Quarz 30,00</div> <div>Zettlitzer Kaolin . 129,50</div>	<div>Differenz</div> <div>$\left. \begin{matrix} 0,6 Al_2O_3 \\ 6 SiO_2 \end{matrix} \right\} 1730^0$</div>
34	$Al_2O_3, 2,5 SiO_2$	<div>Quarz 15,00</div> <div>Zettlitzer Kaolin . 129,50</div>	<div>Differenz</div> <div>$\left. \begin{matrix} 0,6 Al_2O_3 \\ 6 SiO_2 \end{matrix} \right\} 1750^0$</div>
35	$Al_2O_3, 2 SiO_2$	Zettlitzer Kaolin .	1770 ⁰
36 ¹	$Al_2O_3, 1,66 SiO_2$	<div>Grünstädter Kaolin 259,00</div> <div>gebrannte Tonerde 20,60</div>	<div>Differenz</div> <div>$\left. \begin{matrix} 0,6 Al_2O_3 \\ 6 SiO_2 \end{matrix} \right\} 1790^0$</div>
37 ¹	$Al_2O_3, 1,33 SiO_2$	<div>Grünstädter Kaolin 259,00</div> <div>gebrannte Tonerde 51,50</div>	<div>Differenz</div> <div>$\left. \begin{matrix} 0,6 Al_2O_3 \\ 6 SiO_2 \end{matrix} \right\} 1825^0$</div>
38 ²	$Al_2O_3, 1 SiO_2$	<div>Grünstädter Kaolin 259,00</div> <div>gebrannte Tonerde 103,00</div>	<div>Differenz</div> <div>$\left. \begin{matrix} 0,6 Al_2O_3 \\ 6 SiO_2 \end{matrix} \right\} 1850^0$</div>
39 ³	$Al_2O_3, 0,66 SiO_2$	—	1880 ⁰
40 ⁴	$Al_2O_3, 0,33 SiO_2$	—	1920 ⁰
41 ⁵	$Al_2O_3, 0,13 SiO_2$	—	1960 ⁰
42 ⁶	Al_2O_3	—	2000 ⁰

^{*)} Die Kegel 36 und 37 sind durch Hecht, die Kegel 38 bis 42 durch Marquardt eingeführt worden. Der von Seger benutzte Kegel 36 bestand aus Rakontzer Schiefer-ton.

Die ursprünglichen Kegel 1 bis 3 zeigten infolge ihres Eisenoxydgehaltes eine zu große Empfindlichkeit gegenüber reduzierenden Einflüssen und die Kegel 4 bis 6 schmolzen in zu nahen Abständen voneinander. Aus diesen Gründen sind diese Kegel durch neue (1a bis 6a) ersetzt worden, die aus Mischungen der Kegelmasse 7, Kaolin und Magnesit, bestehen (Simonis, Mitt d. Chem.-Tech. Versuchsanstalt, Sprechsaal 1909, S. 41). Da die Schmelzpunkte der Seger-kegel 21 bis 25 sehr nahe beieinander liegen, ist beschlossen worden, diese fünf Kegelnummern nicht mehr herzustellen. Die Kegel bis 20 und von 26 ab werden ohne Umnennung weiter in den Verkehr gebracht.

und größere Unabhängigkeit gegen die Ofenatmosphäre zeigen. Der Kegel 022 schmilzt bei 600° und der Kegel 010 bei 910° .

Anderseits wird von H. Marquardt angestrebt¹⁾, die Kegelkala über den Schmelzpunkt der Tonerde hinaus zu erweitern, wozu sich Massen aus Magnesia und Tonerde eignen, wenn die beiden Komponenten, jede für sich, vorher geschmolzen oder hochgebrannt worden sind.

Durch Schaffung seiner 36 „Normalkegel“ ermöglichte Seger, daß jede einmal erzielte Hitze, wenn sie nur die höchsten, im Devilleschen Gebläseofen erreichbaren Temperaturen nicht übersteigt, gekennzeichnet und wieder auffindbar wurde. Auf diese Weise gelangte er zu einer unveränderlichen, von chemischen Wirkungen während des Erhitzens unbeeinflussten Temperaturskala, die vom jeweiligen Stand unserer Erkenntnisse über den Zusammenhang der Wärme mit anderen Energieformen (Veränderung der elektrischen Leitfähigkeit, der elektromotorischen Kraft [EMK] der Thermoelemente, der Lichtemission) völlig unabhängig ist. Freilich, für rein wissenschaftliche Arbeiten auf physikalischem Gebiete können die Segerkegel oft schon deshalb nicht angewendet werden, weil ihre Benutzung an die Voraussetzung geknüpft ist, daß die absolute Wärmemenge in der benutzten Heizvorrichtung nicht gar zu klein ist. So z. B. dürfte die Temperaturbestimmung eines glühenden Fadens mittels der Normalkegel schwer durchführbar sein. Ferner wird den Segerkegeln entgegengehalten, daß sie Temperaturschwankungen nicht anzeigen, und daß die Kegelkala in keinerlei Beziehungen zu der Temperaturskala nach Celsius steht. Abgesehen davon, daß es überhaupt noch strittig ist, ob es einwandfrei ist, die Celsiuskala so weit über ihren höchsten Eichpunkt auszudehnen, muß doch hervorgehoben werden, daß die Celsiusgradangaben der anderen Meßmethoden zum großen Teil auf Extrapolation beruhen, und daß es an geeigneten Eichpunkten fehlt. Zahlreich sind die Versuche, einen unverrückbaren Eichpunkt durch die Schmelzpunktsbestimmung des Platins zu schaffen. Gegen 1877 meinte man, Platin schmelze zwischen 2500 und 2700° . Mitte der 80er Jahre fand Violle, daß Platin bei 1780° schmilzt, und diese Angaben wurden durch die Arbeiten von Holborn bestätigt. Die groß angelegte Untersuchung von Harker²⁾ ergab im Durch-

Schmelzpunkt
des Platins.

1) Sprechsaal 1906, S. 1393.

2) Chemical News 1905, Bd. 91, S. 250, 262 u. 287. Von den Mitgliedern des Geophysikalischen Laboratoriums in Washington wurde 1907 der Schmelzpunkt des Platins als bei 1720° liegend angenommen. Nach den letzten vorliegenden Messungen der Physikalisch-Technischen Reichs-

schnitt aus zahlreichen, bis um 30^0 voneinander differierenden Beobachtungen den Wert von $1710^0 (\pm 5^0)$, d. h., daß der Schmelzpunkt des Platins zwischen 1705 und 1715^0 liegt. Die Schwierigkeiten solcher Untersuchungen liegen zum Teil in der Erzielung einer gleichmäßigen Temperatur, so daß der Untersuchungsgegenstand und das Meßgerät (z. B. die Lötstelle eines Thermoelementes) der gleichen Temperatur ausgesetzt werden, zum vielleicht noch erheblicheren Teil in der Gewinnung von chemisch reinem Platin und an der Beseitigung jeglicher chemischen Einflüsse während der Prüfung. Schon Seger wies darauf hin, daß ebenso wie Gußeisen, das nur ein ganz wenig kohlenstoffreicher ist als Schmiedeeisen, schon ganz erheblich früher als dieses schmilzt, auch kohlenstoffhaltiges Platin bzw. wenn Platin in einer stark reduzierenden Atmosphäre erhitzt wird, verhältnismäßig leicht schmilzt. Nach zahlreichen Versuchen des Verfassers schmolzen Platinstreifen (aus einem von Heraeus bezogenen Tiegel) in einem Schamottetiegel unter Benutzung von Kohlengrieß als elektrischen Heizwiderstand bei Segerkegel 27 bis 28 zu einer Kugel zusammen. Der Schmelzpunkt des Platins wurde also lediglich durch die reduzierende Wirkung des Kohlenoxyds mehr als um 100^0 heruntergedrückt. In ähnlicher Weise ist Platin auch siliziumhaltigen Dämpfen gegenüber empfindlich. Harker führte seine Untersuchung in einem Rohre aus nahezu reinem Zirkonoxyd aus und schätzte die Temperatur mittels Thermoelemente ab.

Diese Änderungen in den Angaben über den Schmelzpunkt des Platins zogen jedesmal auch eine Verschiebung in dem Verhältnis zwischen den Schmelzpunkten der Segerkegel und der Celsiusskala mit sich. Wie aber Hecht ganz treffend bemerkte, darf jedoch nicht etwa aus der Herabsetzung des Schmelzpunktes der Segerkegel geschlossen werden, daß die Segerkegel sich vielleicht geändert haben. Die Sache liegt vielmehr gerade umgekehrt. Die Segerkegel sind die alten geblieben, nur hat die Entwicklung der Pyrometrie dazu geführt, für die Schmelzpunkte andere Werte anzunehmen. Neuerdings wurden mit den Segerkegeln im Auftrage des Vereins Deutscher Fabriken feuerfester Produkte¹⁾ um-

Nachprüfung
der
Normalkegel

anstalt (Holborn und Valentiner) wurde der Schmelzpunkt des Platins zu 1789^0 berechnet. Aus der von Nernst und von Wartenberg angestellten Helligkeitsmessung erhält man den Wert 1775^0 (Tätigkeitsbericht der Physik.-Techn. Reichsanstalt für 1906; Zeitschr. f. Instrumentenkunde 1907, S. 119).

1) Bericht über die 27. Hauptversammlung dieses Vereins, Februar 1907 (Sonderabdruck); vergl. auch Sprechsaal 1907, Bd. 40, S. 481 u. 499.

fangreiche Versuche in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt durch R. Rothe und anderseits durch C. Loeser in seiner Lehranstalt in Halle a. S. unternommen. Die von Rothe gefundenen Werte für die Schmelzpunkte der Segerkegelnummern 4 bis 20 sind bereits mitgeteilt worden. Es hat sich hierbei herausgestellt, daß

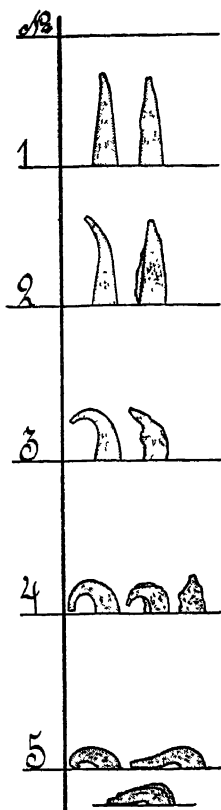


Fig 2. Niedergehende Segerkegel

die Kegel der gleichen Nummern stets annähernd bei derselben Temperatur niederschmelzen. Die größte Genauigkeit wurde bei den Kegeln 8, 9, 10, 14, 17, 18, 20 beobachtet, bei denen der mittlere Fehler $\pm 5^{\circ}$ nicht überstieg. Am genauesten erwies sich der Kegel 14, der bisweilen zur Kontrolle der Pyrometer benutzt wurde. Die höchste Differenz wies der Kegel 12 auf, die $\pm 14^{\circ}$ betrug. Die Schnelligkeit des Erhitzens ist insofern von Bedeutung, als es eine gewisse Zeit dauert, bis ein Ausgleich der Temperatur innerhalb des Kegels sich vollzieht. Um übereinstimmende Resultate zu erhalten, empfiehlt es sich, während der letzten 20 Minuten vor dem Niederschmelzen die Temperatur nicht mehr als 5° pro Minute ansteigen zu lassen. Über die Vorgänge bei den bereits im Niederschmelzen begriffenen Kegeln geben ein anschauliches Bild die Versuche von Loeser. Von den dabei zu unterscheidenden fünf Stufen (vergl. Fig. 2) entspricht die Stufe 4 im Momente, wo der Kegel mit seiner Spitze die Bodenplatte berührt, dem Schmelzpunkte des Kegels. Trotz des Umstandes, daß diese fünf Stufen bei einzelnen Kegelnummern selbst bei Einhaltung möglichst gleichmäßiger Temperatursteigerung mit sehr ver-

schiedener Schnelligkeit aufeinander folgten, gelangt auch Loeser zu dem Schlusse, daß durch weitere Vervollkommnung der Segerkegel ein Hilfsmittel zu gewinnen sei, das für praktische Begriffe als einwandfrei bezeichnet werden kann.

Beziehungen
zwischen
Feuerfestigkeit
und Zu-
sammensetzung

Wie bereits erwähnt, läßt sich lediglich auf Grund der elementaren chemischen Zusammensetzung eines Tongemisches kein genaues Bild über dessen Feuerfestigkeit gewinnen. Diese hängt auch davon ab, ob und eventuell bis zu welchem Grade die Kieselsäure in freiem Zustande (als Quarz, Sand) oder nur als Silikat im Tongemische enthalten ist. Neben der elementaren Zusammensetzung ist daher

der durch die sogen. „rationelle Analyse“¹⁾ ermittelte Gehalt an freier und gebundener Kieselsäure für die Beurteilung der Feuerfestigkeit von wesentlicher Bedeutung.

Für die Fälle, wo es sich um tonhaltige Gemenge und nicht um Gemische chemischer Präparate handelt, konnte man dank den grundlegenden Arbeiten von C. Bischof²⁾, E. Richters³⁾ und von H. Seger, zum Teil in Gemeinschaft mit Aron, folgende Leitsätze aufstellen:

1. „Der chemische Vorgang des Schmelzens der Tone besteht in der Bildung von Doppelsilikaten, deren Schmelzbarkeit mit ihrem höheren Gehalte an Kieselsäure zunimmt. Zerfließt ein Ton in der Hitze unserer Öfen, so setzt dies einen gewissen Gehalt an Flußmitteln als durchaus notwendig voraus, denn die reinen Silikate der Tonerde (d. h. $Al_2O_3 \cdot 2 SiO_2$) zerfließen nicht.“

2. „Der Grad der Feuerbeständigkeit der Tone ist abhängig von der Menge der Flußmittel zu den schwer schmelzenden Bestandteilen der Kieselsäure und Tonerde.“ „Die Feuerbeständigkeit eines Tones wird am meisten beeinträchtigt durch die Magnesia, dieser folgt der Kalk, diesem das Eisenoxyd und letzterem das Kali.“ Dieser Satz, den Richters durch zahlreiche Versuche experimentell nachgewiesen hat, deckt sich mit dem allgemeinen Gesetz, wonach je kleiner die Molekulargewichte der Verbindungen sind, desto größer ist deren Reaktionsfähigkeit (vergl. Kosmann⁴⁾ und Bischof⁵⁾).

3. „Wenn man einen feuerfesten Ton einerseits mit einer gewissen Menge eines Flußmittels, anderseits mit einer gewissen Menge Quarz versetzt und ein drittes Gemenge aus diesen beiden herstellt, so ist die Schmelzbarkeit dieses letzteren eine viel größere, als die seiner Komponenten, oder mit anderen Worten, daß der Ein-

1) In bezug auf die rationelle Analyse sei verwiesen auf Segers gesammelte Schriften: Zur chemischen Konstitution der Tone, und auf die Abhandlung von C. Bischof: Tonanalyse, in Lunge's Chemisch-Technische Untersuchungsmethoden, Bd. 1; vergl. außerdem E. Berdel (Mitt. aus der Chem.-Techn. Versuchsanstalt): Die Entwicklung der rationellen Analyse, Sprechsaal 1903, Nr. 25 u. 26.

2) C. Bischof, Die feuerfesten Tone, 3. Aufl., 1904, bei Quandt & Händel, Leipzig.

3) E. Richters, Untersuchungen über die Feuerfestigkeit der Tone, 2. Aufl., Verlag der Tonindustrie-Zeitung.

4) Tonindustrie-Zeitung 1895, S. 41.

5) Abhandlung: Tonanalyse, in den Chemisch-Techn. Untersuchungsmethoden von Lunge, Bd. 1, S. 502.

fluß der flußbildenden Bestandteile auf die Schmelzbarkeit der Tone ganz bedeutend zunimmt mit deren höherem Kieselsäuregehalt.“

4. „Für die Erhaltung der Form von aus Ton gefertigten Gegenständen ist in erster Linie die Feuerfestigkeit desjenigen mineralischen Bestandteils maßgebend, welcher in größter Menge vorhanden ist, weil dieser gleichsam das feste Gerüst bildet, welches die geschmolzenen Teile in seinen Poren aufzunehmen hat. Dieses ist bei Kaolinen und zum Teil auch bei den feuerfesten Tönen im allgemeinen die Tonsubstanz.“

Schließlich sei noch der am häufigsten zitierte Satz Richters' hier erwähnt:

5. „Durch das gleichzeitige Vorkommen verschiedener Flußmittel in einem Tone wird der Einfluß jedes einzelnen auf die Schmelzbarkeit des Tones nicht erhöht.“

Aus den von Richters Ende der 60er Jahre aufgestellten diesbezüglichen Versuchen läßt sich allerdings kein anderer Schluß ziehen. Es ist jedoch fraglich, ob man beim Arbeiten mit feineren Hilfsmitteln, doch nicht mindestens zur Einschränkung dieser Regel sich veranlaßt sehen wird. Sowohl die Verhältnisse bei den Metalllegierungen, wie auch (zum Teil wenigstens) bei Gläsern liegen bekanntlich anders, und möglicherweise ist bei feuerfesten Tönen die gegenseitige Beeinflussung der Flußmittel nicht groß genug, um mit den Richters vor 40 Jahren zur Verfügung gestandenen Vorrichtungen wahrgenommen werden zu können.

Tonerde und
Kieselsäure

Bereits Bischof hat erkannt, daß von den beiden Hauptbestandteilen der Tone, Tonerde und Kieselsäure, die erstere die feuerbeständigere ist, wenn auch die Kieselsäure allein nicht viel dahinter steht. Ausgehend von seinem „Normalton I“, welcher dem Rakonitzer Schiefer entspricht und nahezu reines $Al_2 O_3 \cdot 2 Si O_2$ ist, wurde eine Anzahl Tongemenge mit immer wachsendem Kieselsäuregehalt dargestellt und auf ihre Feuerfestigkeit geprüft. Späterhin hat Seger¹⁾ diese Untersuchung weiter fortgeführt und die Resultate in folgender Weise (Fig. 3) graphisch dargestellt.

Die einzelnen Prüfungssubstanzen

$Al_2 O_3$, $Al_2 O_3 Si O_2$, $Al_2 O_3 \cdot 2 Si O_2$, $Al_2 O_3 \cdot 3 Si O_2$ usw.

wurden einmal aus reiner Tonerde und Quarz (gemahlener Bergkristall) zusammengemischt (Kurve I) und das andere Mal durch Ver-

1) Segers Schriften, S. 434. Die Kegelnummern 36 bis 41 sind hier nur als hypothetische anzusehen, da Seger nur 35 Kegelnummern hatte. Der Schmelzpunkt der Tonerde entspricht in der Wirklichkeit dem Kegel 42.

dünnen des Zettlitzer Kaolins mit Sand, wobei, um den Alkaligehalt des Tones stets auf der gleichen Höhe zu erhalten, ein geringer Anteil an Feldspat immer zugesetzt wurde (Kurve II). Die Feuerfestigkeit wurde nach der Kegelskala gemessen. Die Feuerfestigkeit der Prüfungskörper nimmt mit dem Steigen der Anzahl der Kieselsäuremoleküle stark ab, erreicht bei der Zusammensetzung Al_2O_3 17 SiO_2 ihr Minimum und nimmt bei weiterer Vermehrung des Kieselsäuregehaltes wieder stark zu.

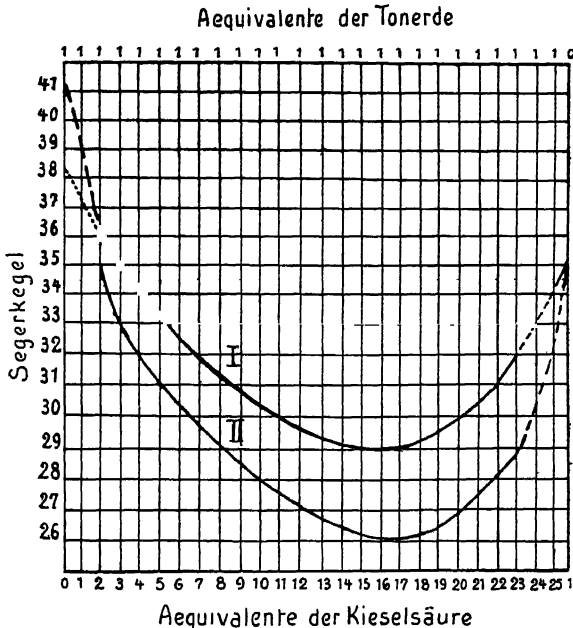


Fig. 3. Schmelzkurve I Tonerde-Quarzgemische. Schmelzkurve II Kaolin-Sandgemische.

Über die Schmelzbarkeit von Gemischen aus Kieselsäure und Kalk liegt eine Reihe umfassender und zum Teil sehr exakter Untersuchungen vor. Nach Boudouard¹⁾, der die Schmelzpunkte von Kegeln aus Kalkkieselsäuregemischen mit denjenigen der Segerkegel verglich, schmelzen alle Mischungen zwischen 30 und 90 % Kalk unterhalb 1500 ° C. Die Versuche von Rieke²⁾ ergaben für die kalkarmen Gemische übereinstimmende Werte, dagegen erwiesen sich die kalkreichen Gemische als bedeutend schwerer schmelzbar:

Kalkkiesel-
reihe.

1) Journ. Iron and Steel Inst. 1905, S. 339.

2) Sprechsaal 1907, Nr 44 (Mitt. a. d. Vers.-Anst. d. Königl. Porzellan-Manufaktur).

	nach		$2\text{CaO}, \text{CaO}$	$2\text{CaO}, \text{CaO}$	$2\text{CaO}, \text{CaO}$	CaO	CaO	
			SiO_2	SiO_2	3SiO_2	2SiO_2	5SiO_2	3SiO_2
Boudouard	16–17	15–16	14–15	16	21–26	31	32–33	35
Rieke	29	19	15	15	20–26	29	32–33	36

in Segerkegeln.

Aber auch die von Rieke für die kalkreichen Gemische gewonnenen Werte sind nach den Untersuchungen von H. Philipp¹⁾ noch viel zu niedrig. Als Ausgangsmaterial benutzte Philipp Kalk mit 99,92 % CaO und gereinigten Hohenbokaer Sand mit 99,89 % SiO_2 ; die Gemische wurden wie bei Versuchen von Rieke in Kohlegrießöfen geschmolzen. Die Temperaturmessungen mittels Segerkegel und des Pyrometers von Wanner (vergl. S. 62) ergaben folgende Schmelzpunkte:

	Segerkegel	Pyrometer
Trisilikat ($2\text{CaO}, 3\text{SiO}_2$)	14	1410 — 1420 °
Bisilikat (CaO, SiO_2)	17 — 18	1490 — 1500 °
Sesquisilikat ($4\text{CaO}, 3\text{SiO}_2$)	16	1450
Singulosilikat ($2\text{CaO}, \text{SiO}_2$)	} zerrieseln beim Erkalten	40 1920 — 1930
Subsilikat ($3\text{CaO}, \text{SiO}_2$)		41 1960 — 1970

Die mit den Mitteln der Carnegie Institution von Arthur Day in Gemeinschaft mit Allen, Shepherd, White und Wright²⁾ im Geophysikalischen Laboratorium in Washington über denselben Gegenstand ausgeführte Untersuchung ergab, daß Kalziumoxyd einen so hohen Schmelzpunkt hat, daß bis jetzt befriedigende Bestimmungen noch nicht möglich waren. Unter günstigen Verhältnissen kann es im elektrischen Lichtbogen zu einer klaren, wenig zähen Flüssigkeit geschmolzen werden, welche leicht mit deutlich entwickelter kubischer Struktur erstarrt³⁾. Der Schmelzpunkt der

1) „Schmelz- und Lösungsversuche in der Reihe Kalkkieselsäure“, von H. Philipp, Inaug.-Diss., Berlin 1908, und Sprechsaal 1908, Nr. 46. Auf die Versuche Philippis über das Verhalten seiner Schmelzen verschiedenen Lösungsmitteln gegenüber kann hier nicht näher eingegangen werden.

2) Die Kalkkieselreihe der Minerale, Sonderabdruck aus Tschermaks Mineralogische und petrographische Mitteil. 1907, Bd. 26, S. 170.

3) Da die dabei festgestellten Eigenschaften des Kalziumoxydes wohl kaum schon in den größeren Nachschlagwerken zu finden sind, so seien sie hier kurz wiedergegeben. Die Dichte von CaO wurde in Terpentin bestimmt, und zwar bei 25° C. zu 3,316, wenn H_2O bei 25° = 1. Dieser kristallisierte Kalk wird von Wasser viel weniger leicht aufgenommen als das amorphe Oxyd. Er ist aber nicht unangreifbar durch Wasser. 5 g der fein gepulverten Kristalle mit wenig Wasser in einer Probierröhre gemischt,

Kieselerde (die punktierte Linie AB der Fig. 4) liegt bedeutend tiefer als die Temperatur, welche ihm gewöhnlich zugeschrieben wird. In dem Maße, als die Gemische reicher an Kalk werden, erscheint das Schmelzen des Kieselerdeüberschusses beträchtlich erleichtert. Bei einem Gehalte von 35 bis 55 % Kalk bleibt zwar das meiste flüssig, es entsteht aber darin das Pseudowollastonit ($CaSiO_3$), dessen Schmelzkurve durch BCD dargestellt ist (Fig. 4).

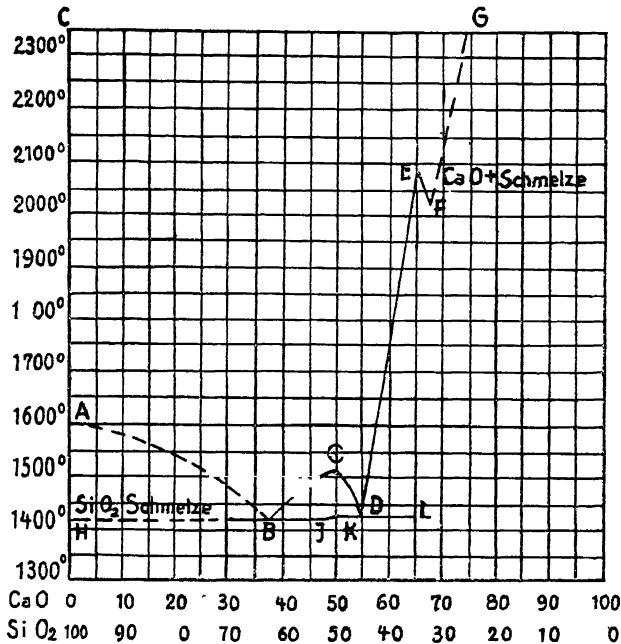


Fig. 4. Kalkkieselreihe.

In ähnlicher, noch viel mehr ausgeprägter Form findet bei Gemischen mit mehr als 55 % Kalk die Bildung des Orthosilikats von Kalzium ($2CaO \cdot SiO_2$) statt, das 65 % CaO enthält, und das scharf zwischen 2077 und 2083 ° (Mittel 2082 °) schmilzt. Die Mischung mit 67,5 % CaO schmilzt scharf bei 2015 °. Weder das Orthosilikat noch die Mischung mit 70 % CaO zeigte bei dieser Temperatur eine Spur von Schmelzung.

erhöhten die Temperatur kaum merklich. Doch nach etwa 5 Minuten explodierte der Inhalt mit beträchtlicher Heftigkeit. Ungepulverte Stücke des kristallinen Oxyds lösen sich in kaltem Wasser langsam auf, ohne merkliche Erhitzung. Heißes Wasser greift rascher an, aber die Wirkung des Wassers ist in beiden Fällen langsam, verglichen mit der auf amorphen Kalk.

Die Härte nach der Mohrschen Skala liegt zwischen 3 und 4.

Kurven der Schmelzpunkte (vergl. Fig. 4).

Prozentgehalt an CaO . .	30	32	35	40	45	48,2	50	52	54	55,5	57	60	62,5	65	67,5
Kurve $BCDEFG$ (in Grad)				1453	1500	1512	1508	1484	1433	1503				2082	2015
Kurve $HJKL$ (in Grad) . .	1420	1418	1418	1421	1413	—	1432	1430	1433	1429	1431	1426	1429		

Kaolinkalkreihe.

Über den Einfluß von Marmor und Kalk auf Kaolin stellte E. Cramer¹⁾ und später R. Rieke²⁾ größere Untersuchungen an. In analoger Weise verfolgte R. Rieke³⁾ den Einfluß von Magnesit bzw. von Magnesia auf die Porosität, Schwindung und Feuerfestigkeit der Tone. Aus seinen Abhandlungen hierüber, wo auch die einschlägigen älteren Arbeiten von Mäckler, A. Hottinger,

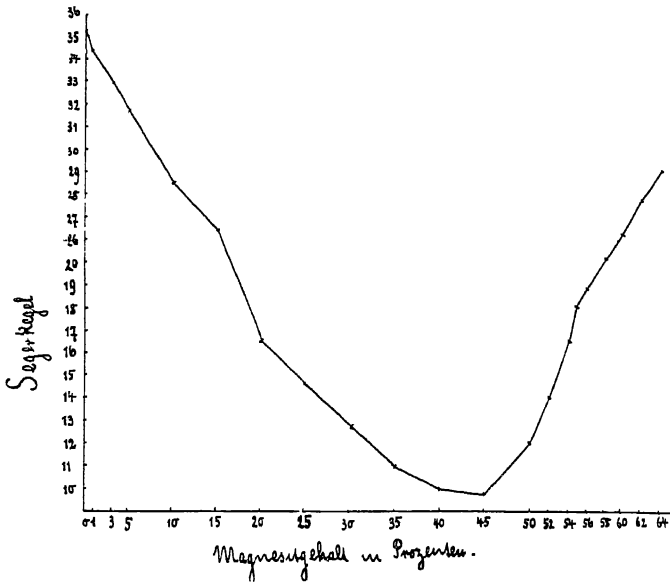


Fig 5. Schmelzkurve für Gemische von Kaolin mit Magnesia

Th. Ludwig, L. Barringer besprochen werden, sei hier obige Schmelzkurve (Fig. 5) der Gemische von Zettlitzer Kaolin mit Magnesit entnommen.

Über die Wirkung der Phosphorsäure auf keramische Massen vergl. C. W. Parmelee⁴⁾.

1) Tonindustrie-Ztg. 1903, S. 1679.

2) Sprechsaal 1906, S. 1295; Mitteil. d. Chem.-Techn. Versuchsanstalt.

3) Ebenda 1905, Hefte 46, 47, 48; vergl. außerdem die Fortsetzung dieser Untersuchung (Sprechsaal 1907, Hefte 15, 16, 17), betreffend die Beeinflussung durch Zumischung von Quarz.

4) Transactions of the americ. Ceramic. Society 1906, S. 236; Sprechsaal 1907, S. 693

Über die Schmelzwirkung von Titansäure auf Kieselsäure, Tonerde und Kaolin berichtet R. Rieke¹⁾. Auf die Kieselsäure wie auf Kaolin wirkt die Titansäure sehr stark verflüssigend; so erniedrigt z. B. ein 10 0/0-Gehalt an Titansäure die Erweichungstemperatur des Kaolins um fünf Segerkegel und 20 0/0-Titansäuregehalt beinahe um zehn Segerkegel.

Die Feuerfestigkeitsverhältnisse von Mischungen von Kaolin (Zettlitzer Erde) und Chromit untersuchte M. Simonis²⁾. Der angewandte Chromiteisenstein hatte folgende Zusammensetzung:

$Cr_2 O_3$	. . . . .	52,9 0/0
$Fe O$	. . . . .	22,6 "
$Al_2 O_3$	. . . . .	4,8 "
$Si O_2$	. . . . .	9,6 "
$Mg O$	. . . . .	10,1 "

Wie aus der in Fig. 6 veranschaulichten Schmelzpunktkurve ersichtlich, darf bei der Herstellung schwer schmelzbarer Chromitsteine nicht mehr als 10 bis 15 0/0 Kaolin oder sonstigen guten Tons zugesetzt werden. Die stöchiometrische

Berechnung der niedrigst schmelzenden Mischung (mit

35 0/0 Zettlitzer Erde) ergab bei der Annahme, daß die letztere als reine Tonsubstanz der Formel $Al_2 O_3 \cdot 2 Si O_2 \cdot 2 H_2 O$ entspricht, die Zusammensetzung

$$\begin{matrix} 0,55 Fe O & \{ & 0,61 Cr_2 O_3 \\ 0,45 Mg O & \{ & 0,45 Al_2 O_3 \end{matrix} \}_{1,02 Si O_2}$$

oder abgerundet 1 RO · 1 $Al_2 O_3$ · 1 $Si O_2$.

Wie schon Rieke³⁾ früher gezeigt hatte, hat auch das niedrigstschmelzende Kalk-Tonerde-Kieselsäuregemisch die gleiche Formel. Die umfangreichen Untersuchungen Riekes beziehen sich auf diejenigen drei Elemente, aus denen sich fast alles, was zu keramischen Erzeugnissen gehört, zusammensetzt; es kommt ihnen daher eine

Kaolin und
Chromit.

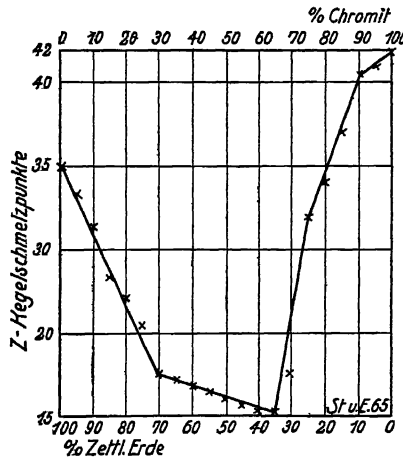


Fig. 6 Kaolin und Chromit.

Kalk-Tonerde-
Kieselsäure.

1) Sprechsaal 1908, S. 405; Mitt. d. Chem.-Techn. Versuchsanstalt d. Kgl. Porz.-Man.

2) Stahl und Eisen 1908, Bd. 28, S. 834; Mitt. d. Chem.-Techn. Versuchsanstalt d. Kgl. Porz.-Man.

3) Sprechsaal 1907, Nr. 44, 45, 46; Stahl und Eisen 1908, Bd. 28, S. 16; Mitt. d. Chem.-Tech. Versuchsanstalt d. Kgl. Porz.-Man.

große praktische Bedeutung zu, und zwar nicht nur für die keramischen, sondern auch für allerlei hüttenmännische Schmelzprozesse, bei denen bekanntlich die Leichtflüssigkeit der Schlacken von Wichtigkeit ist. Leider lassen sich die von Rieke erhaltenen Resultate bei der Fülle von Zahlenmaterial nicht kurz wiedergeben. Es war daher seitens W. Mathesius¹⁾ außerordentlich verdienstvoll, die von Rieke erhaltenen Ergebnisse zu bearbeiten und sie anschaulicher, ja sogar plastisch darzustellen. Bereits Boudouard²⁾ hat

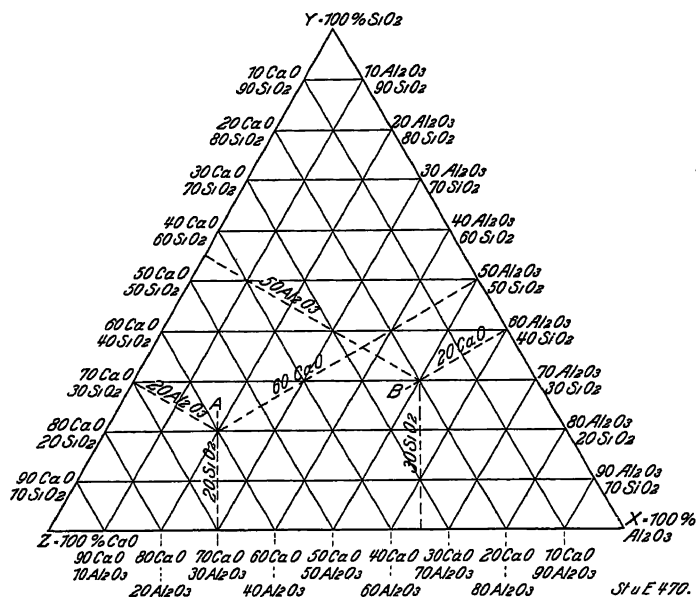


Fig 7 Boudouards dreiaxige Kurvendarstellung der Kalk-Tonerde-Kieselsäurereihe.

die Kalktonerde-Kieselsäurereihe zu untersuchen versucht und benutzte zur Darstellung der Ergebnisse dreiaxige Kurven. Mathesius rechnete das Zahlenmaterial von Rieke um und verteilte es auf ein Dreikoordnatsystem nach folgenden Gesichtspunkten. In Fig. 7 seien die drei Seiten mit X, Y, Z bezeichnet. Längs der Linie X sind die Prozentgehalte an Tonerde, Y die Prozentgehalte an Kieselsäure und längs der Z diejenigen an Kalk aufgetragen, so daß im Punkte X diejenige Verbindung verzeichnet ist, die aus 100 % Ton-

1) Stahl und Eisen 1908, S. 1121.

2) Revue de la Métallurgie 1905, S. 462; Stahl und Eisen 1905, S. 1351. Vergl. außerdem Eng. Min. Journ. 1905, Bd. 79, S. 1109; Zeitschr. f. angew. Chemie 1906, Bd. 19, S. 102.

erde, im Punkte *Y* die Verbindung, die aus 100 % Kieselsäure, und im Punkte *Z* diejenige, die aus 100 % Kalk besteht. Auf der Linie *X—Y* liegen alle Verbindungen oder Mischungen, die aus Tonerde und Kieselsäure bestehen, und zwar derart verzeichnet, daß, wenn wir diese Linie in zehn gleiche Teile teilen, an jedem der Teilpunkte eine Zusammensetzung verzeichnet werden muß, wie die Fig. 7 zeigt. Das gleiche gilt von den übrigen Seiten des Dreiecks. Verbinden wir nun die einzelnen Teilpunkte durch Parallelen zu den Dreieckseiten miteinander, so können wir im Innern des großen Dreiecks an jedem der kleinen Unterteilpunkte ohne weiteres genau feststellen, wieviel Prozent von jedem der drei Komponenten der diesem Punkte des Diagrammes entsprechende Körper enthalten muß. Demzufolge stellt Punkt *A* auf der Fig. 7 eine Verbindung dar, die aus 60 % $CaO + 20\%$ $SiO_2 + 20\%$ Al_2O_3 besteht und Punkt *B* eine solche, die 20 % $CaO + 30\%$ $SiO_2 + 50\%$ Al_2O_3 enthält.

Die Ergebnisse der Einzelversuche von Rieke veranschaulichte Mathesius durch die Fig. 8, wo die Höhe der Stäbchen der Feuerfestigkeit der betreffenden Massen entspricht; noch deutlicher kommen die gewonnenen Resultate auf einem von Mathesius angefertigten Gipsabguß (Fig. 9) zum Vorschein. Der Maßstab der Darstellung ist so gewählt, daß die Dreiecksebene die Temperatur von 1000° repräsentiert; die oberhalb 1000° liegenden Temperaturen sind als Ordinaten in Millimetern aufgetragen.

In den Riekeschen Versuchen heben sich zunächst bei der Linie der reinen Kalksilikate außerordentlich deutlich zwei Schmelzpunktmaxima ab, die genau den Körpern der chemischen Zusammensetzung $CaO.SiO_2$ (Bisilikat) und $2CaO, SiO_2$ (Singulosilikat) entsprechen. Aus den Senkungen auf der Kalktonerdeseite kann man entnehmen, daß man dort mit Aluminaten zu tun hat.

Aus den bereits erwähnten einschlägigen Untersuchungen von O. Boudouard seien noch folgende Zahlenergebnisse mitgeteilt:

Kalk und Tonerde ergaben als die niedrigst schmelzende Verbindung (1395°) ein Kalziumaluminat $(Al_2O_3)_2(CaO)_3$.

Von den Tonerdekalksilikaten schmilzt $(SiO_2)_6Al_2O_3(CaO)_3$ bei 1300°, $(SiO_2)_4Al_2O_3(CaO)_5$ bei 1370° und $(SiO_2)_2Al_2O_3(CaO)_2$ bei 1390°.

Eine Reihe von Schmelzpunktbestimmungen von Kalktonerdesilikaten führte M. Theusner¹⁾ aus; es wurden folgende Werte gefunden:

1) Beiträge zur Erweiterung der bisherigen Kenntnisse von der Konstitution natürlicher und künstlicher Schlacken, Inaugur.-Diss., Berlin 1908; außerdem Sprechsaal 1908, Nr. 46.



Fig. 8 Kalktonerde-Kieselreihe.

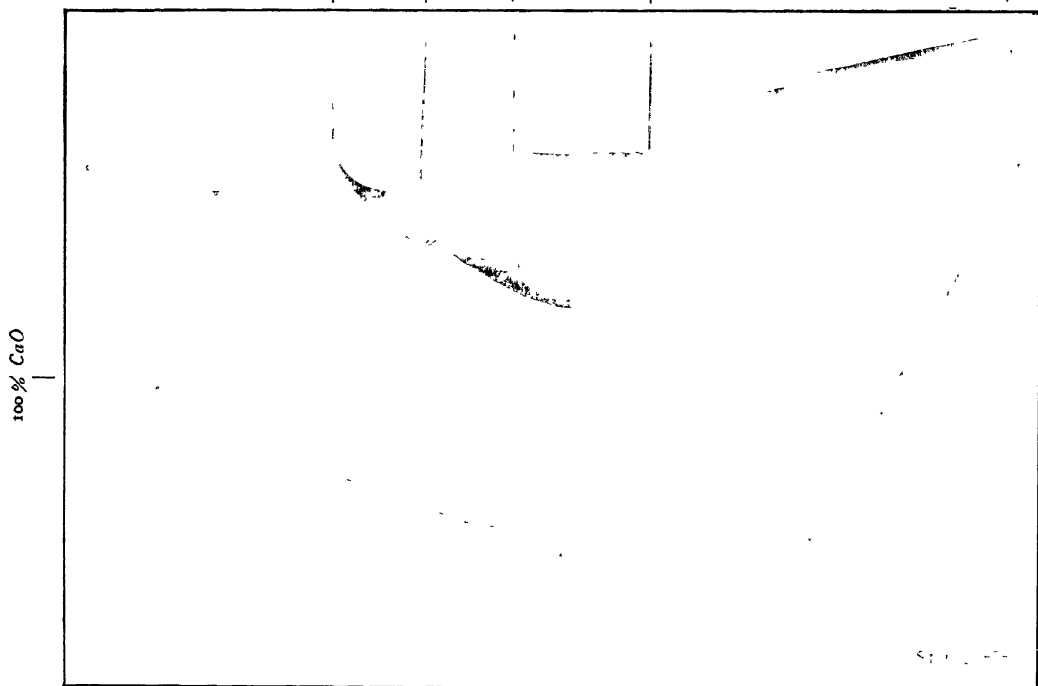
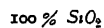
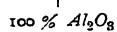


Fig 9 Kalktonerde-Kieselreihe.



	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Al_2O_3 in Proz.	60	60	60	30	20	10	30	20	10
SiO_2	10	20	30	60	60	60	10	20	30
CaO	30	20	10	10	20	30	60	60	60
Schmelzpunkt in } Grad C	1400	1500	1600	1450	1300 bis 1325	1400	1400 bis 1425	1450 bis 1475	1650

Aus den umfangreichen Untersuchungen über Gemische aus Zettlizer Kaolin, Quarz und Feldspat von Simonis¹⁾, und über Wirkung von Kaliglimmer (Muskovit $3 Al_2O_3 \cdot 6 SiO_2 \cdot K_2O \cdot 2 H_2O$) von Riecke²⁾ seien hier nur einige Schmelzpunkte wiedergegeben.

Kaolin-Quarz-
Feldspat-
Glimmer-
gemisch

Zettlizer Erde in Proz. }	—	—	—	15	45	85	15	45	85	15	45	70
Quarz	15	45	85	—	—	—	85	55	15	45	30	15
Feldspat	85	55	15	85	55	15	—	—	—	40	25	15
annähernder Schmelzp. in Kegeln }	9 bis 10	15 bis 16	30 bis 31	9	25	33 bis 34	28 bis 29	29 bis 30	33 bis 34	15	27 bis 28	32
Glimmer in Proz.					100	90	80	70	60	50		
Tonerde					—	10	20	30	40	50		
annähernder Schmelzp. in Kegeln					13	12	13	17	30	36		
Glimmer in Proz.	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	—	
Quarz	—	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
annähernder Schmelzpunkt in Kegeln }	13	14	27	20 bis 26	20	18	20	20	28	32	36	
Schmelzp. der geschmolzenen, glasig erstarrten Gemische }	7	6 bis 7	18 bis 19	15	14 bis 15	14	17	19 bis 20	26 bis 27	31 bis 32	36	
Zettlizer Kaolin in Proz.	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10		
Glimmer	—	10	20	30	40	50	60	70	80	90		
annähernder Schmelzpunkt in Kegeln }	35	35	34	33	32	31 bis 32	31	27	19	15 bis 16		

Auch die Schwindung und Porosität dieser Gemische bei verschiedenen Temperaturen wurde untersucht, worauf jedoch hier nicht näher eingegangen werden kann.

Heraeus unter Mitwirkung von Jochum³⁾ bestimmte die Schmelzpunkte einer Reihe von bekannten Tönen. Bei der Annahme, daß Platin bei 1710^0 schmilzt, sind für die einzelnen Materialien die folgenden Schmelzpunkte einzusetzen:

Schmelzpunkte
einiger Tone
und anderer
Materialien.

1) Sprechsaal 1907, Nr. 29 u. 30 (Mitt. d. Chem.-Techn. Versuchsanstalt d. Kgl. Porz.-Man.).

2) Ebendas 1908, Nr. 42.

3) Zeitschr. f. angew. Chemie 1906, Bd. 19, S. 65.

Saarkohlenschiefer Nr. 1 der Liste der Kohlen-	
schiefertone	1710 °,
Rakonitzer Schiefer Nr. 5 der Liste der Kohlen-	
schiefertone	1695 — 1705 °,
Saarauer Blauton	1672 — 1675 °,
Saarauer Kaolin	1690 °,
Zettlitzer Kaolin	1680 — 1685 °,
Ton von Kärlich	1624 — 1632 °,
Mährischer Schiefer, Blasdorf-Wenzelstollen .	1700 °,
plastischer Ton, Iaff von Briesen i. M. . . .	1677 °,
derselbe schwarz	1664 °,
Schieferton Blasdorf, Josephistollen	1695 °,
Schieferton Blasdorfer Wald	1695 °,

Tone von Grünstadt (Pfalz):

Kaolinton von Grünstadt	1667 °,
weißer heller Ton von Eisenberg (Pfalz) . .	1653 °,
Schamotte, gebrannter Schieferton	1680 °,
desgl., Rakonitzer Tonschiefer	1690 °,
desgl. Saarkohlenschiefer	1705 °,
Glashafenton gebrannt, Pfälzer	1670 °,
geschlammter Steingutton	1630 °,
blauer Tiegelton (Pfalz)	1653 °,

verschiedene Marken von Grünstädter Schamotte-
waren zeigten die Schmelzpunkte zwischen . 1630 u. 1680 °.

Schließlich seien noch einige neuere Schmelzpunktbestimmungen
von Mineralien, die für die Keramik von Interesse sind, aufgeführt:

Feldspate

Die Feldspate (natürliche) erweichen nach C. Doelter¹⁾ sehr
langsam:

	Beginn der Schmelzung	Totale Um- wandlung in die amorphe Phase
Albit ($Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$)	1130 ° (1225 °)™	1215 °
Oligoklas $2(Na_2Ca)O \cdot 2Al_2O_3 \cdot 9SiO_2$	1160 ° (1360 °)*	1240 °
Labradorit ($Na_2Ca)O \cdot Al_2O_3 \cdot 3SiO_2$	1185 ° (1463 °)*	1275 °
Anorthit ($CaO \cdot Al_2O_3, 2SiO_2$)	1255 ° (1532 °)^	1340 °

Ähnliche Untersuchungen stellte Marianne Urbas²⁾ mit Ge-
mischen an. Die Schmelzpunkte bzw. Erweichungspunkte der

1) Z. f. Elektroch. 1906, S. 617 und Sprechsaal 1906, S. 1321. Die mit
Stern (*) bezeichneten Werte rühren von Day und Allen her und be-
ziehen sich auf künstlich hergestellte Präparate.

2) Neues Jahrbuch für Mineralogie, April 1908, Beilageband, Heft 2,
und Sprechsaal 1908, S. 379.

Gemische aus zwei kristallisierten Mineralien zeigten stets nur eine Erniedrigung unter dem Schmelzpunkt des höher schmelzenden Komponenten, während die Schmelzpunkte der vorher geschmolzenen und glasig erstarrten Gemische zum Teil auch tiefer liegen als der Schmelzpunkt des niedriger schmelzenden der beiden Komponenten. Einige Schmelz- und Erstarrungstemperaturen von Gemischen, deren elementare Zusammensetzung derjenigen von vielen Glasuren entspricht, sollen hier mitgeteilt werden.

Gemische von Orthoklas und Olivin		Beginn der		Beginn der	
$K_2O, Al_2O_3, 6SiO_2$ in Prozent	$2MgO \cdot SiO_2$ in Prozent	Erweichung	Verflüssigung	Erweichung	Verflüssigung
		der Kristallgemenge in Grad		der Gläser in Grad	
90	10	1230	1300	1120	1150
80	20	1230	1300	1120	1150
70	30	1220	1260	1040	1100
60	40	1260	1325	1130	1160
40	60	1270	1380	1195	1240

Gemische von			Beginn der		Beginn der		Beginn der Erstarrung in Grad	Ende der Erstarrung in Grad
Ortho- klas in Proz	Olivin in Proz	Anorthit $CaO,$ $Al_2O_3,$ $2SiO_2$ in Proz	Erweichung	Ver- flüssigung	Erweichung	Ver- flüssigung		
			der Kristallgemenge in Grad		der Gläser in Grad			
81	9	10	1220	1280	1080	1115	1100	1050
72	18	10	1200	1270	1090	1125	1105	1060
63	27	10	1250	1330	1120	1155	1125	1080
54	36	10	1280	1350	1125	1165	1150	1080
31,5	58,5	10	1220	1380	1230	1270	1240	1170

Aus der interessanten Arbeit von G. Stein¹⁾ über die Darstellung von Silikaten ohne Anwendung von Mineralisatoren seien folgende Angaben entnommen, wobei bemerkt werden muß, daß Stein in elektrisch erhitzten Kohleröhren, also in stark reduzierender Atmosphäre gearbeitet hat.

Silikate

$CaSiO_3$	schmilzt bei	. . .	1512 °,
$SrSiO_3$	„	„	1287 °,
$BaSiO_3$	„	„	1368 °,
$MgSiO_3$	„	„	1565 °,
$MnSiO_3$	„	zwischen	1470 u. 1500 °,
$FeSiO_3$	„	„	1500 „ 1550 °,
$ZnSiO_3$	„	(im Porzellanrohr) bei	1479 °,
$BeSiO_3$	wird dünnflüssig oberhalb	. . . . .	2000 °,

1) Inaug.-Dissert., Göttingen 1907 und Sprechsaal 1908, S. 199.

2 BeO , SiO_2 schmilzt oberhalb	2000 °,
2 MgO , SiO_2 „ „	1900 °,
2 ZnO , SiO_2 „ bei	1484 °,
2 SrO , SiO_2 „ „	1903 °,

Die Silikate von Yttrium, Lanthan, Praseodym, Didym, Neodym, Samarium, Gadolinium und Erbium werden bei 1700 ° dünnflüssig und beginnen zu sublimieren.

Eine Reaktion zwischen Zirkonoxyd und Kieselsäure konnte nicht festgestellt werden, denn beim Erhitzen von 1 Mol SiO_2 und 1 Mol ZrO_2 auf 2000 ° drang nur die geschmolzene Kieselsäure in die Poren des Zirkonoxydes. Ein Gemisch von 1 Mol SiO_2 und 1 Mol TiO_2 war bei 1750 ° ganz dünnflüssig und ergab beim Erkalten eine glänzend schwarze Masse, die aus glasiger Kieselsäure, großen undurchsichtigen Nadeln und ganz kleinen blauen Nadeln bestand.

Flüchtigkeit
feuerfester
Oxyde

Die Flüchtigkeit der Oxyde in der Hitze ist im Laufe der letzten 15 Jahre mehrmals Gegenstand von Beobachtungen [Cramer, Moissan, Hirsch, Simonis¹⁾] gewesen. Im allgemeinen läßt sich die Regel aufstellen, daß in reduzierender Atmosphäre die Oxyde bei weitem schneller verdampfen als in oxydierender Atmosphäre. Es muß jedoch dahingestellt bleiben, ob in der reduzierenden Atmosphäre tatsächlich die Oxyde als solche sich verflüchtigen oder ob man es hier mit Metaldämpfen, die gleich nach ihrer Bildung zu Metalloxyden verbrennen, zu tun hat.

Über die Verschiebungen in der Zusammensetzung der gebrannten Tone und Schamottmassen während des Schmelzens läßt sich ein Bild aus der weiter mitgeteilten Tabelle gewinnen: Die Versuchskörper wurden 15 Minuten lang in den hohlen Spitzen der Lichtbogenkohlen (vergl. Abhandlung von Hirsch im nächsten Abschnitt) erhitzt.

	gebrannt	geschmolzen	gebrannt	geschmolzen	gebrannt	geschmolzen	gebrannt	geschmolzen	gebrannt	geschmolzen	gebrannt	geschmolzen
Kieselsäure, SiO_2 . . .	64,91	64,01	65,48	61,07	72,82	68,71	59,59	53,23	55,05	50,37	51,83	48,49
Tonerde, Al_2O_3 . . .	11,90	14,81	19,00	20,86	21,48	26,40	33,90	41,65	41,56	46,94	39,12	46,21
Eisenoxyd, Fe_2O_3 . . .	17,39	16,39	0,28	0,21	2,00	1,78	2,76	1,90	1,25	1,06	1,18	1,07
Kalk, CaO . . .	1,09	0,99	0,50	0,25	0,68	Spur	0,38	Spur	0,50	0,23	0,48	0,11
Magnesia, MgO . . .	1,40	1,11	0,39	0,38	1,11	0,98	0,96	0,87	0,29	0,34	0,24	0,34
Kaliumoxyd, K_2O . . .	0,92	0,13	14,22	13,06	2,27	1,96	2,61	1,95	1,06	0,75	7,45	3,61
Natriumoxyd, Na_2O . . .	—	—	0,36	0,21	—	—	—	—	—	—	—	—
Manganoxyd MnO . . .	2,09	2,45	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Schmelzpunkt nach Seegerkegeln } . . .	3	bis 3	14	16	28	27	32	35	35	37 bis 38	28	35 bis 36

Wie aus diesen Zahlen ersichtlich, ist Kieselsäure leicht flüchtig und ebenso die Alkalien. Kalk ist schwer flüchtig, darauf folgt Tonerde, dann Magnesia. Demnach reichern sich die beiden letztgenannten Bestandteile beim Schmelzen an.

Die bekannte Erscheinung, daß feuerfeste Stoffe beim Gebrauch an Festigkeit einbüßen, führen J. W. Mellor und F. J. Austin¹⁾ auf Kristallisationsbildung, die gleichzeitig mit den Alkaliverlusten eintritt, zurück. Dies ist jedoch so zu verstehen, daß nicht etwa die erhitzten Gegenstände sich zu spalten neigen, sondern daß das Mürbewerden infolge der Volumenänderung beim Übergange aus amorphem in kristallisierten Zustand eintritt. Beim Berliner Porzellan stellte sich die merkwürdige Erscheinung ein, daß die zuerst aufgetretenen starken Kristallisationen etwa nach zwölfmaligem Brande anscheinend wieder verschwanden. Die stärkste Kristallbildung, die überhaupt beobachtet wurde, zeigte sich bei Marquardtschen Pyrometerrohren, jedoch trat keineswegs eine erhöhte Brüchigkeit ein.

Einfluß des
wiederholten
Erhitzens.

Gegenstände aus Korundmasse (nach Buchner) und aus geschmolzener Magnesia zeigten keinen Unterschied des Kleingefüges vor und nach dem Brennen. Vergl. außerdem die Versuche von Heraeus und Jochum S. 75.

A h .

Über das Wärmeleitungsvermögen der feuerfesten Produkte veröffentlichte S. Wologdine eine vorläufige Mitteilung im Bulletin de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale²⁾. Die Versuche wurden an gleich großen Platten von 50 mm Stärke angestellt; es wurde zunächst der Wärmedurchgang durch diese Platten hindurch gemessen für Temperaturen zwischen 500 und 1000 ° an deren Unterseite, dann auch die an die Oberseite abgegebene Warmemenge, die mittels Kalorimeters festgestellt wurde. Gleichzeitig wurde die Temperatur im Innern des Ofens unmittelbar unter der Platte und die Temperatur an zwei 40 mm auseinander liegenden Stellen im Innern der Masse, von denen die eine 5 mm von der Unter-, die andere 5 mm von der Oberseite entfernt war, gemessen. Auf diese Weise wurden die Beziehungen zwischen dem Wärmedurchgang, d. h. der Geschwindigkeit der Wärmeleitung und der Temperatur-

Wärmeleitungs-
vermögen
keramischer
Produkte.

1) Transact. of the Engl. Ceramic. Soc., Bd. VI, S. 129 Nach dem Sprechsaal 1908, Nr. 44.

2) Juniheft 1908. Nach dem Sprechsaal 1908, S. 454.

änderung im Innern der festen Masse ermittelt, woraus sich dann der Wärmeleitungskoeffizient berechnen ließ, d. h. diejenige Wärmemenge, in Grammkalorien ausgedrückt, die in einer Minute durch einen Quadratcentimeter bei einer Temperaturänderung von 1° hindurchgeht.

Nachstehende Zahlen wurden für eine Temperatur von 1000° im Innern des Ofens erhalten:

Gewöhnliche Ziegel, nicht feuerfest	0,0037,
rote Ziegel	0,0029,
andere rote Ziegel	0,0035,
Feuerfester Ton, bei 1000° gebrannt	0,0030,
Fliesenmasse (Compagnie parisienne du Gaz)	0,0031,
andere Fliesenmasse	0,0035,
Retortenmasse (Compagnie parisienne du Gaz)	0,0040,
Glashäfen, bei 1200° gebrannt	0,0026,
„ „ 1600° „	0,0047,
Bauxit	0,0030,
Dinassteine, bei Segerkegel 9 gebrannt	0,0033,
„ „ niederer Temperatur gebrannt	0,0019,
Magnesia	0,0058,
Chrom Eisenstein	0,0054,
Graphit	0,0145,
Karborund	0,0150.

Aus diesen Zahlen ergibt sich, daß alle tonhaltigen Massen mittelmäßig stark gebrannt, ob sie nun feuerfest sind oder nicht, nahezu denselben Wärmeleitungskoeffizienten haben, nämlich 0,003; die stark gebrannten feuerfesten Steine haben ein $1\frac{1}{2}$ mal größeres Wärmeleitungsvermögen, nämlich 0,0045.

Die Silikatsteine haben, solange sie nicht durch stärkeres Erhitzen gesintert sind, ein den Tonsteinen ähnliches Wärmeleitungsvermögen, während letzteres beim Graphit und Karborund fünfmal so groß ist.

Natürlich bestehen wesentliche Unterschiede zwischen verschiedenen Proben gleicher Materialien, Unterschiede, die jedenfalls auf die verschiedene Porosität zurückzuführen sind, was durch weitere Versuche geklärt werden soll. Nach Simonis¹⁾ kommt die Porosität der Steine bei weitem mehr in Betracht, als die chemische Zusammensetzung derselben. C. Hering²⁾ versuchte die Wärmeverluste durch die

1) Sprechsaal 1908, Nr. 40.

2) Electrochem. and metallurg. Industry 1908, S. 495).

Ofenwandungen in Abhängigkeit von der Stärke und Linienführung derselben zu berechnen.

Schon vorher wurde das vorzügliche elektrische Isolationsvermögen des Porzellans erwähnt, wodurch es für die Elektrotechnik geradezu unentbehrlich geworden ist. Es gibt zwar noch zahlreiche andere feste Körper, die gute elektrische Isolatoren sind, aber sei es, weil sie leicht deformierbar, brennbar, hygroskopisch oder spröde sind, können sie als vollgültiger Ersatz des Porzellans nicht dienen. Porzellan ist ein bedeutend besserer Isolator als Glas und die meisten Emailen. Wenn trotzdem die Porzellanisolatoren durchweg glasiert werden, so geschieht es aus dem Grunde, weil an glasierten Flächen die Regentropfen und Staub weniger haften bleiben, als an rauen Flächen.

Elektrische
Eigenschaften
des Porzellans.

Dort, wo dieser Umstand nicht in Betracht kommt, z. B. bei der Verwendung der Porzellanröhren für Heizwiderstände, elektrische Öfen und dergl., ist daher unglasiertes Porzellan vorzuziehen.

Neuerdings konnte mit Sicherheit festgestellt werden, daß das Porzellan keine chemisch einheitliche Substanz ist, sondern daß auch bei Segerkegel 15 bis 16 gebranntes Feldspatporzellan aus einer glasigen Grundmasse besteht, die mit zahlreichen nadelförmigen Kristallchen, stark angegriffenem Quarz und vielen Luftbläschen erfüllt ist; die nadelförmigen Kristalle stimmen in ihren optischen Kennzeichen mit denen des Sillimanits ($Al_2O_3 \cdot SiO_2$) überein. Bei niedrig gebrannten Porzellanen (bis Segerkegel 12) fehlen die Sillimanitkristalle. Da bereits vorher festgestellt wurde, daß die „Gläser“ eine bei weitem höhere elektrische Leitfähigkeit aufweisen als Sillimanit, so ist zu schließen, daß auch für elektrotechnisches Porzellan möglichst hohes Brennen zu empfehlen ist. Dies steht im Einklange mit den Erfahrungen der bekannten Fabrik Ph. Rosenthal & Co., daß die höchstgebrannten Hochspannungsisolatoren gegen den Durchschlag durchschnittlich eine weit höhere Widerstandsfähigkeit, die bis zu 10000 Volt Unterschied beträgt, gegenüber niedriger gebrannten von vollständig gleichen Eigenschaften aufweisen. Zoellner¹⁾, der

1) A. Zoellner, Zur Frage der chemischen und physikalischen Natur des Porzellans. Inaug.-Dissert., Berlin 1908. Abgedruckt im Sprechsaal 1908, Nr. 35 bis 39; außerdem erschienen im Verlag freistudentischer Schriften, Charlottenburg. E. Plenske, Über Mikrostruktur und Bildung der Porzellane. Dissert., Aachen 1907. Abgedruckt im Sprechsaal 1908, Nr. 19 bis 24. G. Vogt, Über den Einfluß der Brenntemperatur auf die Eigenschaften des Porzellans. Tonindustrie-Ztg., Bd. 27, S. 1153 bis 1155.

hierüber eingehend gearbeitet hat, schlägt daher vor, nur solches Porzellan zu Hartporzellan zu zählen, in dem auf optischem oder chemischem Wege die Kristallite sich nachweisen lassen.

Nach A. S. Watt¹⁾ lassen sich für die Herstellung von elektrotechnischem Porzellan folgende Regeln aufstellen:

Die erforderliche Garbrandtemperatur steigt mit dem Gehalte an Kalk und sinkt mit dem Kaligehalte. Der Widerstand gegen den Stromdurchschlag ist bei richtigem Garbrand am höchsten; bei noch stärkerem Brennen bleibt er meistens auch hoch, bei ungenügendem Brennen aber fällt er bedeutend niedriger aus. Im übrigen scheint hier die gute und gleichmäßige mechanische Durcharbeitung der Massen von größerem Einfluß als deren chemische Zusammensetzung zu sein. Zoellner²⁾, der diese Angaben bestätigt gefunden hat, hebt noch folgende Punkte hervor:

1. Das Porzellan (besonders die zu Hochspannung verwendeten Isolatoren) dürfen nicht unter einer bestimmten Temperatur (1400 bis 1450 ° C.) gebrannt werden, da sich gerade in diesen Hitzegraden die wichtigsten chemischen und physikalischen Veränderungen im Innern der Masse vollziehen.

2. Die im Porzellan vorhandenen Luftblasen sind die Ursache der Glimm- und Büschelentladungen und derjenigen Durchschläge, die nicht durch fehlerhaftes Porzellan an sich hervorgerufen werden. Nach Zoellner werden nämlich die Durchschläge durch eine allmähliche Erweiterung dieser Luftblasen und durch Zerreißung der Zwischenwände hervorgerufen.

3. Die Grenzen der Leistungsfähigkeit des Porzellans als Isolierungsmaterial sind noch nicht festgelegt; sie hängen mit der Frage zusammen, bis zu welchem Grade die Luftblasen im Porzellan zu vermeiden sind.

Für die Beurteilung des Porzellans sind rein äußerlich folgende Merkmale maßgebend. Ein gutes Porzellan zeigt in dünnen Stücken hohe Transparenz, und zwar bläulich-weißen Durchschein, gut verglaste Bruchfläche, d. h. speckig-muscheligen, nicht körnig-trockenen Bruch und hellen Klang. Die Glasur muß spiegelblank und glänzend sein; pockiges, trübes oder eierschaliges Aussehen der Glasur deutet auf ein minderwertiges Fabrikat.

1) Transact. Americ. Ceramic Soc., Bd. 9, S. 600. Nach der Tonindustrie-Zeitung 1908, S. 1211.

2) Elektrotechn. Zeitschr. 1908, S. 1257.

Für die Bestimmung der elektrischen Eigenschaften des Porzellans benutzte H. Haworth¹⁾ Porzellanscheiben von 205 mm Durchmesser und 5,5 mm Dicke aus der Fabrik Hermsdorf (Sachsen - Altenburg). Über die Zusammensetzung und die Brenntemperatur des Porzellans werden leider keine Angaben gemacht. Beide Seiten der Scheiben waren bis auf einen kleinen Rand mit einer kreisförmigen Stanniolelektrode bedeckt, die mit einer sehr dünnen Schicht von Paraffin an derselben angeklebt war. Zur Bestimmung der Zeit, die zur Ladung eines solchen Porzellankondensators auf eine bestimmte Spannung nötig ist, wurde die Anordnung so getroffen, daß nach der Ladung aus einer Hochspannungsbatterie die Entladung durch ein empfindliches Galvanometer vorgenommen wurde. Die Ladungszeiten erstreckten sich auf 1, 2, 3 usw. Sekunden. Wie aus der Fig. 10 ersichtlich, sind die Porzellanisolatoren bereits nach einer Minute geladen.

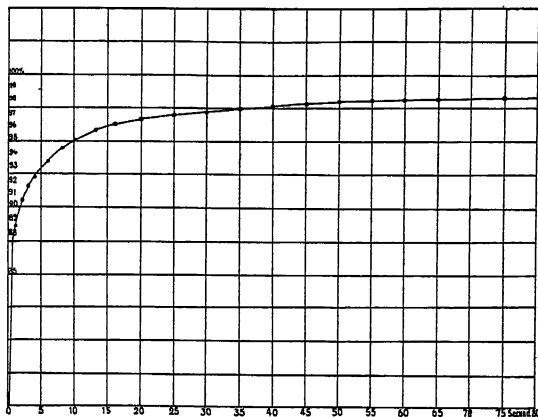


Fig. 10. Elektrische Menge eines Porzellankondensators in Funktion der Zeit.

Die Abhängigkeit der Ladung („elektrische Menge“) von der Potentialdifferenz (Spannungshöhe) ist durch die Fig. 11 veranschaulicht; aus derselben geht hervor, daß die Ladung direkt proportional der Spannung ist.

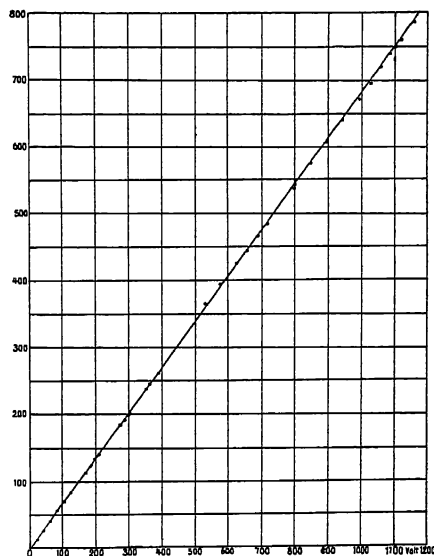


Fig. 11. Elektrische Menge eines Porzellankondensators in Funktion des Potentials.

1) Die elektrischen Eigenschaften des Porzellans. Inaug. - Dissert., Basel 1906; außerdem Elektrotechn. Anz. 1908, S. 146.

Bei der Messung der Leitfähigkeit des Porzellans bei verschiedenen Spannungen (in Funktion des Potentials) ergab sich die Eigentümlichkeit, daß, wenn man die Messungen zuerst bei ansteigender Spannung und dann bei abnehmender Spannung aus-
führte, die beiden

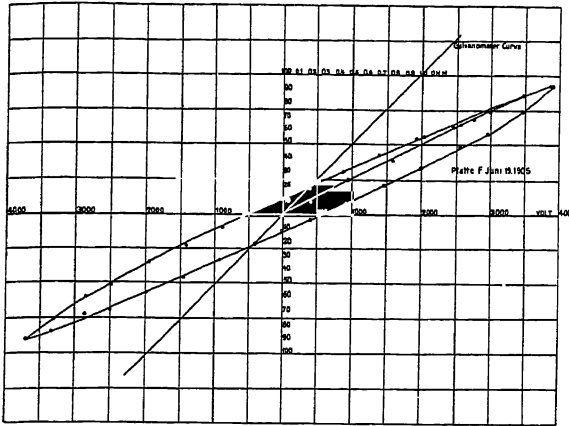


Fig. 12. Elektrische Leitfähigkeit des Porzellans in Funktion des Potentials.

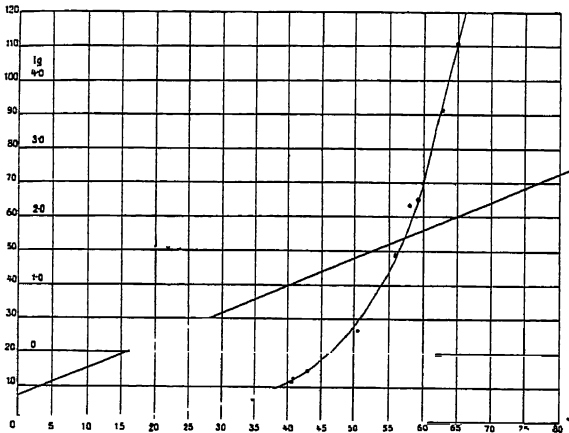


Fig. 13. Elektrische Leitfähigkeit des Porzellans in Funktion der Temperatur.

Zahlenreihen untereinander

nicht übereinstimmen. Man erhält vielmehr sogen. Hysteresisschleifen (Fig. 12), die jedoch im Gegen-

satz zu den analogen Erscheinungen bei Eisen im Sinne des Uhr-

zeigers verlaufen. Die Größe der Hysteresisflächen bei Spannungen von 4000, 3000 und 2000 Volt ver-

halten sich wie 3:2:1.

Nach diesem wurde der Einfluß der Temperatur (0 bis 80 °) auf die Leitfähigkeit des Porzellans be-

stimmt. Für diese Untersuchung wurden zwölf Por-

zellanscheiben hintereinander geschaltet. Es stellte sich heraus (vergl. Fig. 13), daß mit wachsender Temperatur die Leitfähigkeit rasch

zunimmt. Haworth berechnete hierfür den Wert $\frac{Kt_1}{Kt_2} = e^{0,090837(t_1 - t_2)}$.

Hier mögen noch einige Zahlen aus den betreffenden Messungen folgen:

Temperatur in Grad	16,4	27,3	37,03	47,0	56,51	64,89	81,93
Leitfähigkeit $\times 10^{10}$	1,3708	3,5125	8,5671	17,546	48,850	110,75	485,67

Die spezifische Leitfähigkeit von Porzellan bei 20° beträgt $0,2624 \times 10^{-13}$ pro Kubikzentimeter. Über die Leitfähigkeit und elektrolytische Zersetzung des Porzellans bei höheren Temperaturen liegt eine sehr interessante neuere Untersuchung¹⁾ von F. Haber, A. Rief und P. Vogt vor, in der die Elektrolyse des Porzellans genau verfolgt wird. Als Material wurden unglasierte Rosesche Tiegel der Königl. Porzellanmanufaktur Berlin von 38 mm Höhe, 27 mm Weite und 1 mm Wandstärke verwandt. Um den Tiegel und in ihm befand sich geschmolzenes Zinn, dem Gleichstrom durch zwei Graphitstäbe unter einer Spannung von 55 bzw. 110 Volt zugeführt wurde. Die Temperatur des Zinnbades wurde mit einem Thermoelemente im Quarzglasschutzrohr gemessen und die ganze Vorrichtung war in einen „Gefäßofen“ mit elektrischer Heizung durch kleinstückige Kohle eingebaut. Ein hintergeschaltetes Präzisionsamperemeter ließ schon bei einer Temperatur von 330° einen Stromdurchgang durch den Tiegel erkennen. Bei 800° und 55 Volt gingen 15 bis 20 Milliamp. durch das Porzellan, was einer Stromdichte von 3,75 Milliamp/qcm der Kathodenseite entspricht. Nach achtstündigem Versuch wurde die Zinnkathode gelöst und die von ihr aufgenommenen Oxyde (Tonerde, Eisenoxyd, Kalk, Magnesia, Kali und Natron) bestimmt. Die erhaltenen Mengen zeigten eine ausgezeichnete Übereinstimmung mit den theoretisch zu erwartenden. Eine zweite Versuchsreihe wurde mit 110 Volt bei Zimmertemperatur begonnen und bis zu Temperaturen von 1250° fortgesetzt. Der Versuch dauerte 3 Stunden. Die Zusammensetzung des Tiegels vor und nach dem Versuche ergibt sich aus folgender Gegenüberstellung:

	vor der Elektrolyse	nach
<i>SiO₂</i>	67,42	68,51
<i>Al₂O₃</i>	26,55	
<i>Fe₂O₃</i>	0,83	} 28,20
<i>TiO₂</i>	0,54	
<i>CaO</i>	0,41	0,40
<i>MgO</i>	0,35	0,33
<i>K₂O</i>	3,31	2,28
<i>Na₂O</i>	0,74	0,72
Glühverlust	0,19	—
	100,34	100,44

1) F. Haber, Bestätigung des Faradayschen Gesetzes beim Stromdurchgang durch heißes Porzellan (Zeitschr. f. anorg. Chemie 1908, Bd. 2, S. 154; außerdem Sprechsaal 1908, S. 225).

Nach Bestimmungen von Goodwin und Mailey (näheres unter „Magnesia“) beträgt die spezifische elektrische Leitfähigkeit des Berliner und Meißener Porzellans:

Temperatur in Grad . .	400	500	600	700	800	900	1000
Berliner Porzellan $10^{-6} \times$	0,05	0,20	0,32	0,43	0,55	0,75	1,00
Meißener „ $10^{-6} \times$	0,05	0,10	0,18	0,24	0,40	0,70	0,94

. V rricht r r d hoh r T mp r t r .

Bis zum Ende des abgelaufenen Jahrhunderts bediente man sich bei keramischen Untersuchungen nur der mit Kohle, Koks oder Gas geheizten Öfen. Zum Niederschmelzen der ersten 20 Kegel

Gasofen

benutzte Seger einen mit Gas geheizten Ofen, der wahrscheinlich von Perrot zuerst konstruiert und von Seger, Heinecke, Roeßler und anderen weiter durchgebildet worden ist. Die Fig. 14 veranschaulicht einen solchen Gasofen mit umschlagender Flamme und vorgewärmter Sekundärluft in der Ausführung von Wiesnegg in Paris. Solche, von vielen Firmen gebaute Öfen werden mitunter auch mit Gebläsevorrichtungen versehen und statt für Leuchtgas, für Azetylen- oder Petroleumheizung eingerichtet. Sie funktionieren sehr gut und lassen sich in Hinsicht auf die Temperaturhöhe, Schnelligkeit des Anwärmens und oxydierende oder reduzierende Atmosphäre gut re-

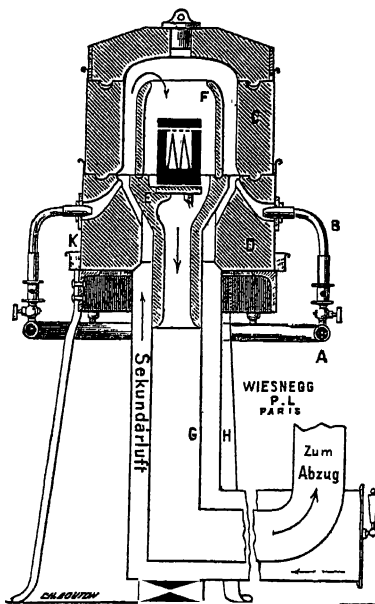


Fig 14 Gasofen

gulieren, falls nur genügender Gasdruck in der Hauptleitung vorhanden und der Ofen an einen gut ziehenden Schornstein angeschlossen ist.

Für Temperaturen über 1500°, auf die es bei der Prüfung der Tone hauptsächlich ankommt, benutzte man den Devilleschen Ofen. Der von Seger¹⁾ benutzte Ofen dieser Art (vergl. Fig. 15) besteht aus einem Eisenblechmantel mit der Schamotteausfütterung

Devillesscher
Gebläseofen.

1) Segers gesammelte Schriften, 2. Aufl., S. 427; an allen übrigen Stellen wird die erste Auflage zitiert.

aus bestem, feuerfestem Material und der als Boden dienenden dicken, schmiedeeisernen Platte. Die Eisenplatte, welche die untere Öffnung des Zylinders verschließt, ist mit 5 bis 6 mm weiten Löchern versehen; der untere Teil des das Schamottefutter umschließenden und darunter hinausragenden Blechmantels ist unten durch die auf einem Dreifuß ruhende Eisenplatte *d* abgeschlossen, die durch einen Lehmbeschlag gedichtet werden kann. Die durch *g* mittels eines Blasebalges eingeblasene Preßluft tritt durch die kleinen Löcher in den eigentlichen Heizraum ein. Die mittlere Öffnung dient zum zentrierten Einsetzen des mit einer zapfenartigen Verlängerung versehenen Tiegeluntersatzes und zum Reinigen

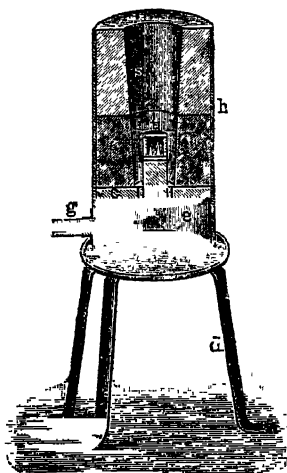


Fig 15. Devillescher Gebläseofen in der Ausführung des Chemischen Laboratoriums für Tonindustrie, Berlin.

des Ofens nach dem Brande von Asche und Kohlenrückständen. Der kleine Tiegel auf dem Untersatz ist von etwa 40 mm äußeren Durchmesser und 45 mm Höhe. Der Tiegel, Untersatz und Schamottemantel werden aus dem höchst feuerfesten Ton, der überhaupt zu erhalten ist, hergestellt. Ursprünglich wandte Seger hierfür ein aus gleichen Teilen von Zettlitzer Kaolin und Neuroder Schiefertone bestehendes Gemisch an, ging aber später zur Anwendung von Magnesit oder Chromit über. Um die Einwirkung des basischen Materials auf die kieselsäurehaltigen Tone zu vermeiden, wurden die Tiegelchen innen mit einer Schicht von chemisch reiner, bis zur Sinterung gebrannter und fein gemahlener Tonerde überzogen. In diesen Tiegeln kann man, ohne ihr Zusammenschmelzen befürchten zu müssen, die Brennversuche bis zum Schmelzpunkt von Kegel 35 und 36 ausführen. Um die Entzündung des Brennmaterials herbeizuführen, kommen in den Ofen einige glühende Holzkohlen hinein, darauf der eigentliche Brennstoff. Bischof¹⁾, Richters und anfangs auch Seger benutzten hierzu kleingeklopften Koks. Da der Aschengehalt des Kokes

1) Über einige Verbesserungen des Devilleschen Ofens vergl. das bereits erwähnte Buch C. Bischof: „Die feuerfesten Tone“. Das Tonindustrie-Laboratorium empfiehlt, den Mantel im Devilleschen Ofen aus hydraulisch gepreßten Magnesitringen herzustellen. Der Ofen soll dann etwa 800 Brände aushalten, wogegen ein Mantel aus um einen Kern gestampften Magnesit nur 120 bis 150 Brände verträgt (Sprechsaal 1904, S. 45).

oft über 10 % beträgt und daher den Ofen leicht verschlackt, benutzte Seger später Retortengraphit aus den Gasanstalten, da bei diesem der Aschengehalt nur etwa 0,1 % ausmacht. Marquardt bedient sich häufig zur Beheizung des Devilleschen Ofens der Kohlenabfälle von Bogenlampen, die sehr dicht, aschenarm und jetzt fast überall leicht zu haben sind.

Während des Erhitzens im Devilleschen Ofen ist der Tiegelinhalt unsichtbar, und man schätzt die im Inneren des Tiegels jeweilig erreichte Temperatur durch die Dauer des Erhitzens („Blasens“). So arbeitete z. B. Bischof in der Weise, daß nach 8 Minuten langem Blasen der Kegel 20 und nach 20 Minuten Platin schmolz. Richters benutzte als weiteren Anhaltspunkt das Gewicht des zugeschütteten Kokes. Bedenkt man, wie schwierig es ist, mit einem solchen Apparate zu präzisen und übereinstimmenden Resultaten zu gelangen, und daß unsere ganzen Kenntnisse auf dem Gebiete der Feuerfestigkeit ausschließlich mit dem Devilleschen Ofen gewonnen worden sind, so erscheint die Experimentierkunst aller derer, die mit Erfolg hier gearbeitet haben, geradezu als bewundernswert. Aber schon aus den durch die Einführung der Segerkegel hervorgerufenen Auseinandersetzungen zwischen Seger und Bischof stellte es sich heraus, daß auch sie sich vollständig bewußt waren, daß es verfehlt wäre, noch feinere Untersuchungen mit dem Devilleschen Ofen anstellen zu wollen. So weist Seger darauf hin¹⁾, daß mitunter Platin vor dem Kegel 30, andermal aber der Kegel 33 völlig geschmolzen war und der Platinstreifen noch unverändert blieb, was ja bei der bald reduzierenden, bald oxydierenden Atmosphäre innerhalb des Tiegels leicht erklärlich erscheint. Sehr instruktiv in bezug auf die Arbeitsweise mit dem Devilleschen Ofen erscheint die Schilderung von Ludwig²⁾ auf der Hauptversammlung von 1906 des Vereins Deutscher Fabriken feuerfester Produkte: „Wohl jeder, der mit dem Deville-Ofen gearbeitet hat, wird schon hier und da die Erfahrung gemacht haben, daß die heißeste Schicht des Ofens sich gerade nicht an der Stelle befand, wo man sie gewünscht hätte. Es kommt vor, daß die Kegel an der Spitze schmelzen und unten nicht genug Hitze bekommen haben, oder umgekehrt, daß sie unten zum Schmelzen kommen und die Spitze sich ungeschmolzen umneigt. Eine andere Unbequemlichkeit ist die, daß man mit gleichen Mengen Graphit durchaus nicht immer die gleiche Hitze erreicht. Es kann

1) Gesammelte Schriften, S. 419.

2) Sprechsaal, Bd. 39, 1906, S. 1390.

vorkommen, daß man mit derselben Menge, die das eine Mal bei kaltem Ofen zum Schmelzen von Segerkegel 34 ausreichte, ein anderes Mal kaum Segerkegel 32 zum Schmelzen bringt.“ Ludwig versuchte nun, die Ursachen dieser Verschiedenheit zu ergründen, und zwar durch Messen der Schwindung von Tonringen, die in verschiedener Höhe des Devilleschen Ofens erhitzt wurden, ohne jedoch zu eindeutigen Resultaten zu gelangen.

Messung hoher
Temperaturen

Die Anwendung der Segerkegel hat während der letzten 20 Jahre eine große Verbreitung, und zwar nicht nur in Deutschland, in keramischen wie auch vielen anderen Industrien gefunden; man könnte mit Recht sich die Frage vorlegen, wie es kommt, daß bei der Bedeutung dieses Hilfsmittels für so viele Gewerbezweige man sich erst jetzt entschlossen hat, die Zuverlässigkeit der Segerkegel nachzuprüfen. Aus zweierlei Gründen konnte dies früher nicht geschehen, und zwar weil zu Segers Zeiten es an genaueren Apparaten und Methoden fehlte, um Temperaturen über 1500° zu bestimmen, und weil anderseits man außer dem Devilleschen Gebläseofen, von dessen Mängeln einige soeben erwähnt wurden, keine genügend heißgehenden Versuchsofen zur Verfügung hatte.

Pyrometer von
Le Chatelier.

Über die zurzeit der Auffindung der Segerkegel schon bekannt gewesenen Kalorimeter von Fischer und Widerstandsmesser von Siemens sind bereits (S. 26) einige kurze Angaben gemacht worden. Kurze Zeit danach ist durch Le Chatelier ein neues Instrument zur Messung niedriger wie hoher Temperaturen vorgeschlagen worden, welches darauf beruht, daß an der Berührungsstelle (oder Lötstelle) zweier Drähte aus verschiedenen Metallen oder Legierungen fortlaufend ein elektrischer Strom entsteht, wenn die Berührungsstelle einer anderen Temperatur als die beiden freien Drahtenden ausgesetzt ist, und zwar wächst die Stromspannung im Verhältnis zum Temperaturunterschied. Durch Messung dieser elektrischen Ströme (Thermostrome) kann man daher den Verlauf der Temperaturänderungen im Ofen genau verfolgen, und zwar, was von einer großen Wichtigkeit ist, selbst an solchen Stellen des Ofens, die dem Auge unzugänglich sind. Die Ablesungen können in beliebiger Entfernung von dem Ofenraum vorgenommen und sogar selbsttätig dauernd aufgezeichnet werden. Trotz seiner außerordentlichen Feinheit läßt sich das Meßinstrument wohl dem Heizer anvertrauen, und dem Verfasser sind Fälle bekannt, wo die Heizer unter Zuhilfenahme des Le Chatelierschen Pyrometers in größeren Öfen ganze Tages-schichten lang Temperaturen von 1300 und 1400° mit Schwankungen von höchstens 15° einzuhalten vermochten. Gewöhnlich wird für die

Thermoelemente ein Draht aus reinem Platin nebst einem aus einer Platinlegierung verwendet. Für Temperaturen über 1500° ist das Instrument nur mit großer Vorsicht zu gebrauchen und kann als betriebssicher nicht mehr gelten. Bei den hohen Temperaturen neigen die Metalle der Platingruppe zur Zerstäubung und sind gegen reduzierende Einflüsse und gegen Kieseldämpfe recht empfindlich, was um so mehr ins Gewicht fällt, als die Schutzröhren (aus Marquardtscher Masse, Quarzglas oder Magnesia) in ganz hohen Temperaturen nicht mehr gasdicht sind. Zur Messung von Temperaturen über 1500° (namentlich im Laboratorium) stellt Heraeus, Hanau, Thermoelemente aus schwerer schmelzbaren Metallen her; so benutzte R. Rothe bei der Prüfung der Segerkegel (S. 34) ein Thermoelement aus Iridium mit einer Iridiumrutheniumlegierung.

Gewissermaßen als Übergang von rein elektrothermischen zu optischen Pyrometern kann man das Pyrometer von Féry betrachten. Féry führt sein Thermoelement nicht mehr in den Ofen hinein, sondern läßt aus einem Schauloch die strahlende Hitze des Ofens auf das Thermoelement einwirken. In Sèvres und auf mehreren anderen Werken in Frankreich soll man günstige Resultate damit erzielt haben. Wo jedoch keine zwingenden Gründe gegen die Zulässigkeit der Le Chatelierschen Methode sprechen, wird man wohl ausnahmslos, falls man überhaupt Thermoelemente anzuwenden die Absicht hat, dem Apparat nach Le Chatelier den Vorzug geben.

Pyrometer von
Féry.

Zur Messung hoher Temperaturen auf rein optischem Wege wird (namentlich in Frankreich und Belgien) vielfach das Pyrometerrohr („lunette pyrométrique“) von Mesuré und Nouel (gebaut von Ducretet in Paris) benutzt. Es besteht aus einem etwa 15 cm langen Fernrohr, in dem die Strahlen des visierten glühenden Körpers durch ein System von Prismen zerlegt werden. Die Temperatur wird abgelesen nach dem Drehungswinkel, den man einer der Prismen geben muß, um eine ganz bestimmte Nuance (sattes Gelb) sichtbar zu machen. Für viele technische Zwecke, wo ein 20 bis 30° großer Fehler zulässig ist, leistet dieses überaus handliche und verhältnismäßig billige Instrument gute Dienste, und es kann besonders für Studienreisen empfohlen werden. Die langjährigen Erfahrungen des Verfassers mit diesem Pyrometerrohr gehen dahin, daß bei oxydierender Atmosphäre die Beobachtungen viel schärfer und präziser ausfallen. Der Meßbereich dieses wie auch der weiter unten zu besprechenden Instrumente beginnt mit etwa 750° und erstreckt sich auf alle erzielbaren Temperaturen. Sämtliche bis jetzt bekannte optische Pyrometer haben den Übelstand, daß die Temperatur nur

Pyrometer von
Mesuré
und Nouel.

bei klarer Glut gemessen werden kann. Rauch oder auch nur Dämpfe stören die Messungen recht erheblich. Für die Genauigkeit der Temperaturmessungen bieten die optischen Pyrometer von Wanner und die von Holborn und Kurlbaum bedeutend mehr Gewähr als die „lunette pyrométrique“.

Pyrometer von
Wanner.

Das Instrument von Wanner besteht ebenfalls aus einem Fernrohr mit einer Anzahl von Glasprismen; an dem zum Ofen zugewandten Ende des Rohres befindet sich ein durch einen konstanten

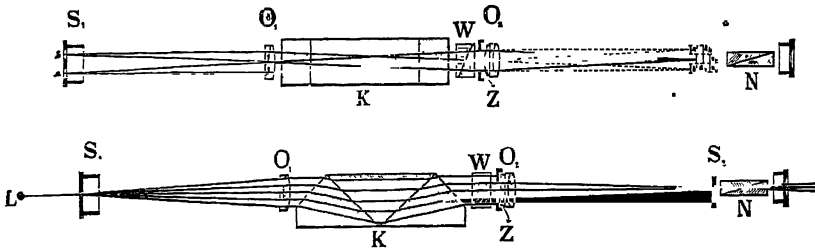


Fig 16 u 17. Optik des Pyrometers von Wanner

nicht regulierbaren Akkumulatorstrom gespeistes Glühlämpchen. Beim Fixieren der Ofenglut durch das Wannersche Rohr werden die in diesem befindlichen Prismen so lange gegeneinander verschoben, bis die aus dem Ofen kommenden Lichtstrahlen von genau derselben Helligkeit wie die des Glühlämpchens erscheinen.

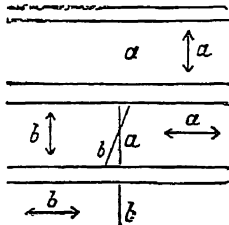


Fig 18. Optik des
Pyrometers von Wanner.

Durch den Drehungswinkel der Prismen wird festgestellt, um wie viel die aus dem Ofen und dem Glühlämpchen kommenden Strahlen verstärkt oder geschwächt werden mußten, um von gleicher Helligkeit zu erscheinen.

Die Konstruktion ¹⁾ des optischen Teiles ist aus den Fig. 16, 17 u. 18 ersichtlich, welche zwei senkrecht zueinander stehende Axialschnitte durch das Photometer darstellen.

Bei S_1 liegen zwei Spalte a und b in der Vertikalebene übereinander, O_1 ist eine Linse, welche, in der Brennweite von S_1 stehend, die Strahlen parallel macht. K ist ein geradsichtiges Prisma. Durch den Kalkspatpolarisator W wird jeder der von a und b kommenden Strahlenbündel in zwei senkrecht zueinander polarisierte Teile zerlegt, die naturgemäß verschiedene Richtungen besitzen. Z ist ein Doppelpisma, durch welches die Strahlen

¹⁾ Die hier folgende Erläuterung ist der Schrift von R. Hase-Hannover: „Pyrometer Wanner“ entnommen worden.

beiderseits nach der Achse zu abgelenkt werden. O_2 sammelt die Strahlen und erzeugt direkt vor dem Spalt S_2 (Okularspalt) Bilder von a und b , von jedem wegen des ordentlichen und außerordentlichen Strahles zwei. Z ist nun so bemessen, daß ein Bild von a (die ordentlichen Strahlen) und eins von b (die außerordentlichen Strahlen) genau vor dem Spalt zusammenfallen. Es ist klar, daß zur Erzeugung des Bildes von a , welches vor dem Spalt S_2 liegt, nur die obere Hälfte von Z beitragen kann, ebenso für dasjenige von b nur die untere Hälfte von Z . Beide Bilder sind aber senkrecht zueinander polarisiert. Ein Auge hinter S_2 würde also die obere Hälfte von Z von a beleuchtet, die untere von b beleuchtet sehen. Durch den drehbaren Nikol N (Analysator) kann nur entweder das eine oder andere Bild geschwächt oder verstärkt werden.

S_1 und $O_1 O_2 K$ stellen also den Spektralapparat dar; W , Z , N die Photometerteile. Sieht man durch S_2 , indem man den Spalt weit öffnet und etwa die rote Wasserstofflinie beobachtet, so erhält man etwa das nebenstehende Bild (Fig. 18), in welchem der Deutlichkeit wegen a und b in der Mitte sich kreuzend dargestellt sind, obwohl in der Tat beide zusammenfallen. Die Pfeile bedeuten die Schwingungsrichtung der Bilder. Durch den Spalt S_2 wird also das obere Bild von a und das untere von b abgeblendet. — Das Licht wird also durch ein geradsichtiges Prisma zerlegt und dann abgeblendet bis auf den schmalen Teil, der der Fraunhoferschen Linie C entspricht, so daß beim Hindurchsehen die Gegenstände im roten Lichte erscheinen.

Polarisierende Prismen, deren eines im Okular drehbar angebracht ist, dienen zur Bestimmung der Intensität der Lichtstrahlen. Die Größe der Drehung wird an einer Kreisteilung abgelesen und dient als Maß der Intensität.

Im Gegensatz zu den Thermoelementen, welche nur die Temperatur derjenigen Stelle, an der sie gerade angebracht sind, anzeigen, ermöglichen die optischen Pyrometer die Temperatur jeder beliebigen Stelle des glühenden Ofenraumes zu bestimmen, soweit sie nur von außen sichtbar ist. Dieser Vorzug gelangt um so mehr zur Geltung, je handlicher der Apparat ist; die leichte Transportfähigkeit solcher Apparate ist daher von wesentlicher Bedeutung. In dieser Beziehung ist die Handhabung des Wannerschen Pyrometers (Fig. 19) viel bequemer als die des sonst ganz vorzüglichen Instrumentes von Holborn und Kurlbaum¹⁾

1) Holborn und Kurlbaum, Annalen der Physik 1903, Bd. 10, S. 225.

(gebaut von Siemens & Halske, vergl. Fig. 20). In diesem Instrumente wird im Gegensatz zur Methode von Wanner die Helligkeit der Ofenglut mit der Helligkeit eines regulierbaren Glühlämpchens verglichen. Die Helligkeit des Lämpchens wird durch einen im



Fig. 19 Handhabung des Wannerschen Pyrometers.

Instrumente selbst eingebauten Vorschaltwiderstand in der Weise eingestellt, daß der Glühfaden genau die Helligkeit der Ofenglut aufweist. Selbst ganz ungeübte Beobachter erzielen durch diese Meßmethode außerordentlich gut übereinstimmende Resultate, und das Instrument leistet im Laboratorium sehr gute Dienste.

Bei Messung von Temperaturen über 1800° muß man die optischen Pyrometer mit einer Lichtschwächungs- (Verdunkelungs-)

Vorrichtung versehen. Hierdurch wird freilich eine Fehlerquelle in die Messungen eingeführt, die jedoch infolge der mit steigender Temperatur sich vergrößernden Empfindlichkeit der pyrometrischen Methoden zum großen Teil wieder beseitigt wird ¹⁾. Immerhin stellte sich heraus, daß die kleinsten Temperaturschwankungen, die mit diesem Pyrometer wahrnehmbar sind, zehnmal größer sind als jene, welche leicht am Thermoelement abgelesen werden können ²⁾.

Zu welcher geradezu erstaunlich guten Übereinstimmung man bei Messung hoher Temperaturen gelangen kann, lehrt die Untersuchung von Waidner und Burgeß ³⁾, die die Temperatur der

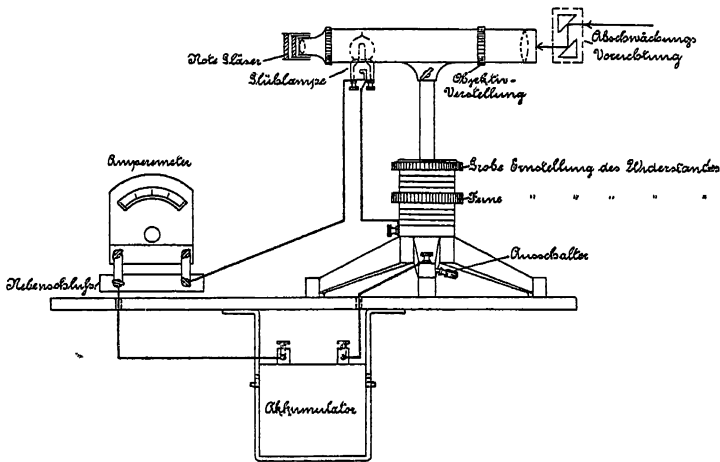


Fig. 20. Pyrometer von Holborn und Kurlbaum.

positiven Kohlenspitze (Anode) eines Lichtbogens mittels drei verschiedener Pyrometer bestimmten. Das Pyrometer von Holborn und Kurlbaum ergab 3690° (absolut), das von Wanner 3680° und das von Féry 3720° .

Bei Erhöhung der Stromstärke des Lichtbogens von 15 auf 30 Amp. beobachteten Waidner und Burgeß eine Temperaturerhöhung

1) Die Lichtentwicklung steigert sich im Verhältnis zu der fünften Potenz der absoluten Temperatur. Mithin genügt bei einer an sich hohen Temperatur eine verhältnismäßig geringe Temperaturerhöhung, um wesentlich mehr Licht zu erzeugen. Eingehende Darlegung der Theorie der optischen Pyrometer findet man in einer vortrefflichen Abhandlung von Iklé (Physikalische Zeitschrift vom 15. Juli 1905).

2) Erfahrungen im Geophysikalischen Laboratorium; vergl. die bereits (S. 38) erwähnte Abhandlung über die Kalkieselreihe der Minerale von Day und anderen.

3) Bulletin of the Bureau of Standards 1904, Bd. 1, S. 109 und Physical Review 1905.

der Anodenspitze von 3690 auf 3760 bis 3780° (absolut), was insofern bemerkenswert ist, als es die übliche Ansicht zu bestätigen scheint, daß die Temperatur des Lichtbogens durch die Steigerung der Stromstärke nur ganz wenig beeinflusst wird.

Erzeugung
hoher
Temperaturen.

Wie in bezug auf Methoden zur Messung hoher Temperaturen, so sind auch in Hinsicht auf die Mittel zur Erzeugung von hohen Temperaturen seit dem Beginn des neuen Jahrhunderts dank der Zuhilfenahme von Elektrizität große Fortschritte zu verzeichnen. Handelt es sich um Untersuchungen bei Temperaturen bis Segerkegel 3 (etwa 1200° C.), so ist die Herstellung eines hierfür geeigneten elektrischen Röhren-, Muffel- oder Tiegelofens verhältnismäßig einfach: Das Rohr oder der Tiegel aus Schamotte oder Porzellan wird von außen mit einem Platindraht, eventuell auch Nickeldraht von geeigneter Stärke und Länge, die sich rechnerisch bestimmen lassen, spiralförmig umwickelt, von außen dann mit Asbest oder anderer geeigneten Wärmeschutzmasse umkleidet und die beiden verstärkten Drahtenden an die Stromzuleitungen angelegt¹⁾. Wenn auch die betreffenden Metalldrähte eine viel höhere Temperatur als 1200° ohne zu schmelzen ertragen können, so hat es sich doch herausgestellt, daß solche Öfen beim stärkeren Erhitzen schnell versagen. Andererseits bietet die Auswahl geeigneten feuerfesten Materials für die Erhitzungsgefäße insofern Schwierigkeiten, als man, um gute Wärmeübertragung zu erzielen, nur ganz dünnwandige Röhren, Muffeln und dergl. hierzu benutzen kann. Aus diesem Grunde muß in den meisten Fällen, namentlich bei den Röhren, auf die Schamotte verzichtet werden, und man benutzt Porzellan, das jedoch meistens schon bei 1400° selbst weich wird.

Marquardtsche
Masse.

Als viel geeigneter für solche Zwecke erwies sich die von H. Marquardt aufgefundene schwer schmelzbare Masse. Sie ist eine Art Porzellan, das jedoch wegen des hohen Gehaltes an künstlicher Tonerde beim Porzellanbrand (Segerkegel 15) noch porös bleibt und erst zwischen Segerkegel 38 und 39 schmilzt. Die Masse enthält außerdem noch etwas Chromoxyd, das dem Scherben einen hellgrünen Schimmer verleiht. Infolge des Gehaltes an plastischem Ton ist sie gut verformbar. Schwindung und Formänderung beim

1) Über die Abmessungen der Metallspiralen für Heizwiderstände gibt es zahlreiche Abhandlungen, von denen hier nur die von A. Kalähne, Widerstandsofen, Annalen der Physik 1903, S. 257, und 1906, Heft 6, und die von A. Guntz, Sur les fours electriques à résistance, Journ. de chim. physique, Bd. 1, September 1903, erwähnt seien. Angaben über die elektrische Leitfähigkeit der gebräuchlichen Materialien findet man in jedem technischen Nachschlagebuch.

Brande sind gering; durch Anbringen einer im Porzellanglutfen aufgebrannten Glasur können die Gegenstände aus Marquardtscher Masse gasdicht gemacht werden¹⁾.

Eine wesentliche Verbesserung in der Herstellung elektrischer Laboratoriumsöfen erzielte W. C. Heraeus (D. R. P. 142152) durch Ersatz der Drahtumwicklung durch Folienbewicklung. Er selbst äußerte sich hierzu wie folgt²⁾:

Öfen von
Heraeus mit
Draht- und
Folien-
bewicklung
aus Platin

„Der Grund, weshalb Spiralen aus dünnen Platindrähten sehr schnell unbrauchbar werden, liegt wesentlich in drei Punkten. Einmal ist die Berührung der Heizspirale mit der Oberfläche des geheizten Körpers bei rundem Draht eine sehr unvollkommene, die Übertragung der Wärme auf denselben demgemäß sehr unvorteilhaft; die Folge davon ist aber, daß die Heizspirale selbst immer eine erheblich höhere Temperatur hat als der geheizte Körper. Um in dem Rohre eine bestimmte Temperatur zu haben, muß man den Platindraht beträchtlich über diese Temperatur erhitzen. Zweitens wird dadurch, daß der Draht an manchen Stellen anliegt, an anderen nicht, eine ungleichmäßige Erwärmung desselben hervorgerufen, und da ferner drittens der Wärmeausgleich innerhalb des dünnen Drahtes ein sehr geringer ist, so entstehen lokale Überhitzungen, welche sich leicht über den Schmelzpunkt des Platins erheben; der Draht schmilzt durch.“

„Diese Nachteile lassen sich vermeiden, wenn man als Heizwiderstand statt Draht sehr dünnes Platinblech verwendet. Eine große Reihe von Versuchen hat gezeigt, daß Platinfolie, von welcher 1 qdm etwa 1,5 g wiegt, deren Stärke mithin 0,007 mm beträgt, für den vorliegenden Zweck am besten geeignet ist. Solche Folie ist dünn genug, um sich der Oberfläche des geheizten Körpers innig anzuschmiegen, und doch noch fest genug, um sich als Spirale in langen Streifen um Porzellanrohre und dergl. wickeln zu lassen. Dieses Umwickeln geschieht derart, daß zwischen den einzelnen Windungen ein Zwischenraum von nur wenigen Millimetern Breite unbelegt bleibt, daß also die Oberfläche des Körpers nahezu vollkommen bedeckt wird.“

„Schaltet man ein derart bewickeltes Rohr von beispielsweise 25 mm Durchmesser und 2 mm Wandstärke in einen passenden Stromkreis ein, so bemerkt man zunächst keinerlei sichtbare Veränderung. Alle entwickelte Wärme wird infolge des festen Anliegens der Heizspirale direkt an das Rohr abgegeben. Nach kurzer Zeit beginnt dann das Rohr im Inneren allmählich erst dunkel-

1) Nach einer Notiz im Sprechsaal 1906, S. 1413.

2) Z. f. Elektroch. 1902, Nr. 15.

dann heller rot zu werden, während die Platinspirale erst wesentlich später das gleiche Verhalten zeigt, und zwar auch dann, wenn man das Rohr in ein weiteres Rohr hineinsteckt und so den Einfluß des Helligkeitsunterschiedes zwischen innen und außen eliminiert. Sehr bald beginnt natürlich auch die Folie zu glühen; sie wird aber selbst bei den höchsten Temperaturen nicht wesentlich heißer als der Innenraum des Porzellanrohres. Es wurde dieses in der Weise wiederholt konstatiert, daß mittels Thermoelement die Temperatur im Inneren des Rohres gemessen wurde und aus Stromstärke und Spannung — unter Berücksichtigung des vorher bestimmten Temperaturkoeffizienten der Folie und des Widerstandes derselben in kaltem Zustande — gleichzeitig die Temperatur der Folie berechnet wurde. Dieses Verhältnis wird etwas ungünstiger bei sehr weiten Rohren, ist aber auch hier noch sehr viel günstiger als bei Drahtwicklung.“

„Die Überlegenheit, welche die Folienwicklung gegenüber der Drahtbewicklung aufweist, macht sich nun in einer Reihe von Vorzügen der nach diesem neuen Verfahren hergestellten Öfen geltend. Dahin gehört die über die ganze Oberfläche der Rohre gleichmäßig verteilte Erhitzung, die Möglichkeit, sehr hohe Temperaturen zu erzielen, und das außerordentlich schnelle Ansprechen bei Regulieren mittels Vorschaltwiderstandes. Ein Röhrenofen von etwa 25 mm Rohrweite läßt sich in etwa 5 Minuten auf 1400° bringen, ohne daß das Rohr Schaden dabei leidet. Leider gibt es indessen kein Rohrmaterial, welches dauernd bei Temperaturen über 1550° C. brauchbar ist. In der Marquardtschen Masse liefert die Königl. Porzellanmanufaktur in Berlin zwar ein Material, welches, abgesehen von einem nicht unerheblichen Nachschwinden bei Temperaturen über 1550° , auch bei etwa 1700° noch temperaturbeständig ist; bei 1500 bis 1600° macht sich aber der Übelstand geltend, daß das Rohr elektrisch leitend wird. Es tritt dann Elektrolyse zwischen den einzelnen Windungen der Platinfolie ein, durch welche das Rohr an der Kathodenseite der einzelnen Windungen angefressen wird und die Platinspirale wahrscheinlich durch Aufnahme von Silizium schneller Zerstörung anheimfällt. Rohre aus geschmolzener Magnesia verhalten sich ganz ähnlich. Immerhin können die Öfen für kurze Zeit auch bei so hohen Temperaturen benutzt werden.“

„Die Folienbewicklung läßt sich für jede beliebige Spannung allein durch Variieren der Breite der Folie bei gleichbleibender Stärke einrichten. Die Oberfläche des beheizten Körpers gibt für alle Fälle die Menge der nötigen Folie an. Rohre von einigen Millimetern Durchmesser und einigen Zentimetern Länge bis zu fast

beliebigen Dimensionen in Weite und Länge können zur elektrischen Beheizung nach diesem System eingerichtet werden. Nach den bisherigen Erfahrungen zeigt sich die Folienbewicklung bei normaler Beanspruchung durchaus dauerhaft. Eine notwendig werdende neue Bewicklung erfordert nur geringen Kostenaufwand.“

„Was nun das vorerwähnte schnelle Ansprechen beim Regulieren betrifft, so sei denn bemerkt, daß man durch Variierung des Vorschaltwiderstandes in beliebig schnellem Tempo die Temperatur

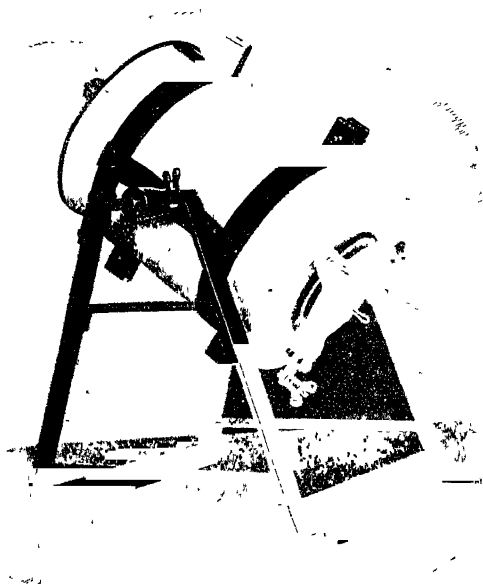


Fig 21 Röhrenofen von Heraeus

des Ofens auf- und abwärts führen kann, fast momentan zeigt das Pyrometer die dem stärkeren oder schwächeren Strom entsprechende Temperatur an.“

„Ein fernerer, sehr ins Gewicht fallender Vorzug der Folienbewicklung ist deren verhältnismäßig geringer Anschaffungswert. Da 1 qdm der Folie nur 1,5 g wiegt, so bedarf man beispielsweise für ein Rohr von 25 mm äußerem Durchmesser und 250 mm bewickelter Länge nur etwa 3 g Platin, wozu für die Stromzuführung noch 1 bis 2 g kommen. Eine einigermaßen brauchbare Drahtbewicklung erfordert etwa das Sechsfache an Gewicht.“

„Was die äußere Montierung der Öfen (vergl. Fig. 21 u. 22) betrifft, so ist dieselbe bei Röhrenöfen die folgende. Das bewickelte Marquardtsche Porzellanrohr wird in ein etwas weiteres Schamotte-

rohr eingesteckt, indem es durch zwei aufgesteckte Schamotteringe in dessen Mitte gehalten wird. Dieses Schamotterrohr steckt in einem weiteren Eisenrohr. Der Zwischenraum zwischen beiden letzteren ist mit einem Wärmeschutzmittel ausgefüllt.“

So vorzüglich sich diese mit Folienbewicklung versehenen Öfen von Heraeus für technische und wissenschaftliche Untersuchungen auch bewahrt haben, so versagen sie doch vollständig in Fällen, wo es sich um die Temperaturen des Deville'schen Ofens handelt; man war daher bei der weitaus größten Zahl von Feuerfestigkeitsbestimmungen und sonstigen keramischen Untersuchungen nach wie vor

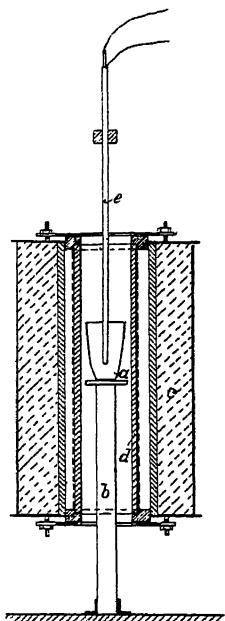


Fig. 22. Querschnitt eines Röhrenofens von Heraeus.

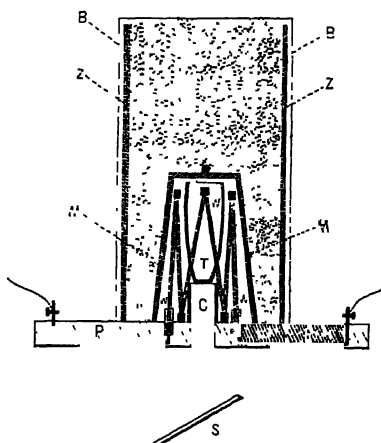


Fig. 23. Widerstandsofen nach Hempel

lediglich auf den Deville'schen Gebläseofen mit allen seinen Nachteilen angewiesen.

W. Hempel, W. Nernst und wiederum W. C. Heraeus scheinen die ersten gewesen zu sein, die mit elektrisch heizbaren und für keramische Untersuchungen geeigneten Apparaten in die Öffentlichkeit traten.

Auf dem Kongresse für angewandte Chemie 1903 führte Hempel¹⁾ mehrere Öfen vor, die zur Schmelzpunktbestimmung von Tonen und keramischen Massen bestimmt waren. Die für Temperaturen unterhalb 1600° bestimmten Öfen (Fig. 23) gehören zu Widerstandsöfen. *W* sind die einzelnen dünnen Kohlenstäbe, die mittels Kohlenschuhen (Kohlenklötzen) miteinander verbunden sind.

Widerstands-
ofen aus
Kohlenstäben
nach Hempel.

1) Sprechsaal 1903, Nr. 32

Der zu erhitzende Tiegel *T* mit dem Schmelzgut steht auf einem Hohlzylinder *C*, der seinerseits über einer kreisförmigen Öffnung in der Mitte der Schamotteplatte *P* sich befindet. Tiegel und Widerstand sind mit einem Mantel *M* aus Graphitmasse bedeckt, während das Ganze in einem Tonzylinder *Z* steht, über den noch eine Blechhaube *B* gestülpt wird. Den leeren Raum im Tonzylinder füllt man mit einer Mischung von Kieselgur und grobgepulverter Holzkohle, um einerseits den Wärmeverlust durch Strahlung einzuschränken, anderseits den Zickzackwiderstand vor dem Eindringen des Luft-sauerstoffes zu schützen. Da Kohle diesen erst bei dunkler Rotglut zurückhält, so wird vor dem Beginn des eigentlichen Versuches die aus Kieselgur und Holzkohle bestehende Ofenschutzmasse mittels Leuchtgasflamme vorgewärmt. Die Temperatur des Tiegels wird mittels eines optischen Pyrometers gemessen, und zwar unter Zuhilfenahme eines Spiegels *S*, der durch Widerspiegeln der Ofenglut die Messung der Lichtintensität gestattet.

Nach den Angaben von Hempel versagt diese Ofenkonstruktion bei Temperaturen über 1600° , weil dann die im Apparate eingeschlossenen Gase und Dämpfe leitend werden, so daß der elektrische Strom, statt durch die zickzackartig angeordneten Kohlenstabe zu fließen, von einem zum anderen überspringen und auch kurzschlußähnliche Erscheinungen hervorrufen kann. Da aber für die Untersuchung der Tone meistens Temperaturen, die gerade um oder über 1600° liegen, in Betracht kommen, so konstruierte Hempel einen Ofen mit Flambbogenheizung (Fig. 24). Auf einem Untergestell *T* ruht die Schamotteplatte *P* und auf dieser eine Graphitplatte *G* als Unterlage für den Ofen, der aus einem Würfel aus einem Stück Rügener Kreide von etwa 8 bis 10 cm Seitenlänge besteht und mit horizontalen und vertikalen Bohrungen versehen ist. Die als Elektroden benutzten Bogenlampenkohlen *E* ruhen auf Holzklötzen *H* und gut isolierten Stützen *I* aus Graphit. In der senkrechten Bohrung

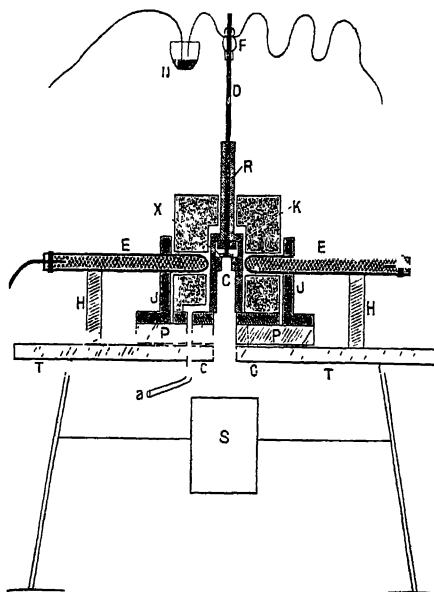


Fig 24. Lichtbogenofen nach Hempel.

des Kreidewürfels steht auf der Graphitplatte ein Kohlenzylinder *C*, der an der Innenseite eine Verengung hat, die als Stütze für die zu schmelzende Substanz dient. Ein dünner Kohlenstift *D*, der in einer dunnen, isolierenden Röhre *R* durch den Zylinderdeckel *K* geführt wird, ruht direkt auf dem Untersuchungsobjekt *X*; an seinem oberen Ende trägt er einen Glasisolator *F*, der weiter unten durch Drahte mit einer elektrischen Klingel verbunden ist, und zwar derart, daß während der Erhitzung die Leitung unterbrochen bleibt und mittels eines Quecksilbernafes *N* der Kontakt erst dann hergestellt wird, wenn der Kohlenstift *D* sinkt. Soll nun der Schmelzpunkt eines Körpers bestimmt werden, so bringt man eine Probe desselben in Form eines Scheibchens auf die Verengung des Zylinders *C* und läßt den Kohlenstab darauf aufsitzen. Bei den Schmelzpunktsbestimmungen steigert man die Temperatur langsam, indem man anfangs nur wenig Strom zuführt und auf beiden Seiten des Kohlenzylinders *C* je einen Flammenbogen bildet. Sobald die Substanz schmilzt, findet ein Nachrutschen des Stabes *D* statt, wodurch bei *N* der Kontakt hergestellt und die Leitung geschlossen wird; ein Klingelzeichen ertönt, zeigt also den Moment der Schmelzung an, worauf mittels des Spiegels *S* die Temperatur mit dem optischen Pyrometer bestimmt wird. Das im Innern des Kreidewürfels entstehende Kohlenoxyd kann durch das Rohr *a* abgeleitet werden. Die Ausführung einer Untersuchung in einem solchen Ofen dauert kaum 5 Minuten.

Soweit dem Verfasser bekannt geworden ist, haben die beiden hier beschriebenen Hempelschen Ofenarten weder für betriebstechnische Prüfungen, noch für wissenschaftliche Untersuchungen nennenswerte Verwendung gefunden, wahrscheinlich weil die Ofenkonstruktionen für den ersten Zweck zu fein sind und für wissenschaftliche Zwecke nicht genügend genaue und zuverlässige Resultate ergeben. Schon Hempel selbst wies darauf hin, daß die Messung des durch den Spiegel reflektierten (statt des ausgestrahlten) Lichtes eine Fehlerquelle bildet, die allerdings mit steigender Temperaturhöhe abnimmt. Außerdem kommt noch hinzu die Schwierigkeit der richtigen Temperaturablesung, denn es ist anzunehmen, daß die Temperatur im Kohlenzylinder fortwährend schnell steigt, indem sie sich der Lichtbogentemperatur nähert, der Beobachter aber auf den Moment des Niederschmelzens sich nicht vorbereiten kann, sondern sich lediglich auf das Glockensignal, welches die bereits stattgefundene Aggregatveränderung anzeigt, verlassen muß. Für Demonstrationszwecke eignet sich dieser Ofen sehr gut, und die Versuche vor einer Zuhörerschaft verlaufen sehr effektiv.

Die von Hempel mit diesem Ofen ausgeführten Schmelzpunktsbestimmungen ergaben folgende Werte:

	unkorrigiert	korrigiert
Magnesia	2250 ⁰	2250 ⁰
Kalk	1900	1900
Tonerde	1880	1880
Veitscher Magnesit	1825	1830
Quarz	1670 (Erweichungspunkt)	1685
Platin	1670	1685
Berliner Porzellan erweicht bei		1550
Knochenasche erweicht bei		1450
Meißener besonders hergestelltes Porzellan ¹⁾		1850

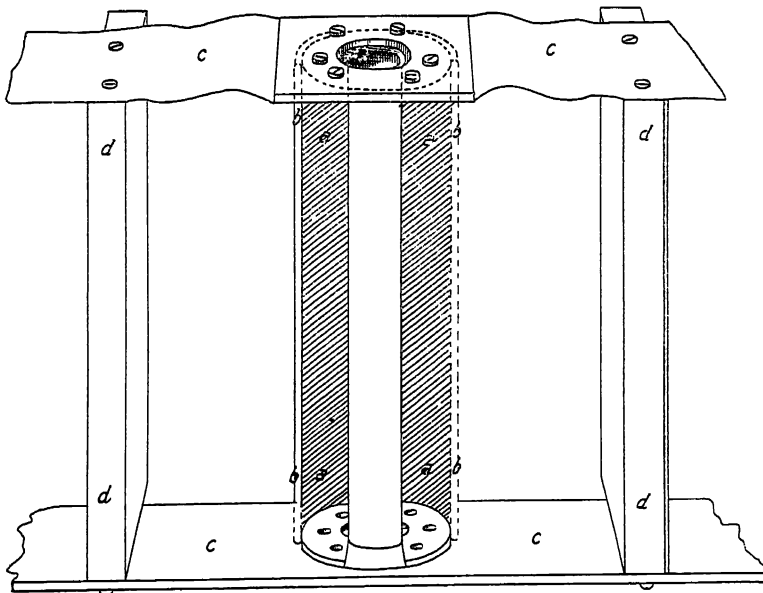


Fig. 25 Iridiumofen von Nernst.

Auf demselben Kongresse demonstrierte W. Nernst²⁾ einen Iridiumofen. nach seinen Angaben von der Firma Heraeus konstruierten kleinen Iridiumofen, in dem man Temperaturen von über 2000⁰ erhalten kann. Der Ofen besteht aus einem etwa 20 mm weiten Iridiumrohr, das durch den durchfließenden elektrischen Strom von hoher Amperezahl erhitzt wird. Die Anordnung im einzelnen gibt Fig. 25 in $\frac{1}{3}$ natürlicher Größe wieder. Das Iridiumrohr ist mit einem weiten

1) Näheres über dieses Porzellan konnte der Verfasser nicht erfahren.

2) Z. f. Elektroch. 1903, S. 623.

Asbestmantel *bb* umgeben; der Zwischenraum *aa* ist mit Magnesia ausgefüllt; *cc* sind die Stromzuführungen und *dd* ein Holzgerüst.

Auf Anregung von P. Jochum und unter Beteiligung von Haagn baute die Firma Heraeus¹⁾ einen ähnlichen Ofen zur Ausführung von Schmelzpunktsbestimmungen feuerfester keramischer Massen. Derselbe bestand aus einem Rohr aus reinem Iridium von 200 mm Länge und 40 mm lichter Weite bei etwa 0,2 mm Wandstärke, das an beiden Enden mit 1,5 mm starken aufgelöteten Platinflanschen versehen war. Die Stromzuführung wurde durch 100 mm breite, dicke Bänder aus weichem Silber gebildet, welche aus einem Ende mit Nickelschrauben an den Platinflansch und am anderen Ende mit der Stromzuleitung, die aus einer Anzahl biegsamer Kabel bestand, verschraubt wurden.

Das Iridiumrohr ist zunächst von einem aus zwei Teilen bestehenden, 60 mm weiten Rohr aus geschmolzener Magnesia umgeben, welches letzteres mit Hilfe durchlochter Stöpsel in einem 160 mm weiten Schamotterrohr eingehängt ist. Der Zwischenraum zwischen dem Magnesia- und Schamotterrohr ist mit gekörneter, geschmolzener Magnesia ausgefüllt. Der Ofen ist so in ein Stativ eingebaut, daß er in senkrechter Richtung um etwa 60 cm verschoben und sowohl vertikal als horizontal aufgestellt werden kann.

Wegen des geringen elektrischen Widerstandes des Iridiumrohres erfordert dieser Ofen einen sehr starken Strom von niedriger Spannung; so z. B. sind zur Erzielung einer Temperatur von etwa 2000 °²⁾ erforderlich 1200 Amp. bei 5 Volt. Die recht ungünstigen Stromverhältnisse in Verbindung mit dem hohen Preis eines solchen Ofens und der Notwendigkeit öfterer Reparaturen bilden, wie Heraeus selbst angibt, fast unüberwindliche Hindernisse zur Einführung dieser Öfen in Industrielaboratorien.

Zur Ausführung von Schmelzpunktsbestimmungen in diesem Ofen soll sich folgende Anordnung am besten bewährt haben:

Der Iridiumofen wird horizontal gelegt. In die Mitte des Rohres wird auf einer Unterlage von Ätzkalk ein tellerartiges Gefäß aus reinem Iridium aufgestellt, das zur Aufnahme der zu untersuchenden Massen bestimmt ist. Die beiden Enden des Rohres werden mit Stöpseln aus feuerfester Masse verschlossen, von denen der eine ein kleines kreisrundes Loch zur Beobachtung der Vorgänge im Ofen

1) Zeitschr. f. angew. Chemie 1905, Bd. 18, S. 49.

2) In der Originalabhandlung heißt es 2100 °; durch eine später als notwendig sich herausgestellte Korrektur (Heraeus, Zeitschr. f. angew. Chemie 1906, Bd. 19, S. 65) reduzierte sich jedoch der Wert auf 2000 °.

hat, während durch ein gleiches Loch im zweiten Stöpsel das Thermoelement, bestehend aus Iridium und einer Iridiumrutheniumlegierung, hindurchgeht, dessen Lötstelle direkt hinter dem Teller, in welchem sich die Tonprobe befindet, liegt. Die zu untersuchende Masse wird, wenn größere Stücke vorliegen, durch Aussägen, wenn in Pulverform, durch Pressen in die Form kleiner Kegel von etwa 0,5 bis 2,0 g Gewicht gebracht und auf dem Iridiumteller so aufgestellt, daß die Kegelmittle etwa in der Achse des Rohres liegt. Die Beobachtung des Vorganges im Ofen geschah mittels Fernrohrs in etwa 1 m Entfernung vom Ofen. Zwischen Fernrohr und dem Ofen war zur Abblendung des ausgestrahlten Lichtes eine dunkelrote Scheibe angebracht

Die Beobachtungen, die mit diesem Ofen angestellt wurden, ergaben die bis dahin noch nicht als feststehend anerkannte Tatsache, daß bei reinen Tonen, die einen wohlcharakterisierten Schmelzpunkt haben, weder die Schnelligkeit der Anheizung noch die Größe der Kegel eine wesentliche Verschiebung des Schmelzpunktes bedingen¹⁾. Die geschmolzene Masse zeigt bei diesen Materialien nach dem Erkalten porzellanartigen Bruch und hat, von neuem erhitzt, denselben Schmelzpunkt wie zuvor.

Etwas abweichend verhalten sich quarzreiche Dinassteine, welche ein wesentlich langsames Erweichen zeigen und beim Schmelzen fast vollkommen durchsichtige Gläser geben. Über folgende vier Versuche wurden nähere Angaben gemacht:

	I	II	III	IV
	Kegel aus demselben Material			Der niedergeschmolzene Kegel III nochmals erhitzt
1. Gewicht des Kegels in Gramm	0,25	0,25	2,5	0,5
2. Anheizungszeit von 1600° bis zum Schmelzpunkt in Minuten	17	2	4	8
3. Beginn der sichtbaren Erweichung (die Kanten der Kegel runden sich ab und werden glatt)	1710°	1715°	1715°	1710°
4. Vollkommene Schmelzung	1725°	1725°	1725°	1715°

Besonders ist bei diesen Versuchen darauf zu achten, daß keine reduzierenden Gase entstehen, da sonst die in diesen Hitzegraden leicht reduzierbare Kieselsäure zur Bildung von Iridsilizium führt.

1) Was jedoch nur so lange zutreffen dürfte, als man mit so kleinen Mengen (0,5 bis 2 g) operiert!

Druck-
festigkeits-
veränderungen
bei Schamotte-
waren.

Im Anschluß an diese Untersuchung wurden noch Versuche angestellt, die Abnahme der Druckfestigkeit¹⁾ der feuerfesten Massen in der Nähe ihres Schmelzpunktes messend zu verfolgen. Zu diesem Zwecke wurde der Ofen vertikal aufgestellt, und auf der zu untersuchenden feuerfesten Masse ruhte ein auf 1 qmm zugespitzter, etwa 3 mm starker Iridiumstab mit einer Belastung von etwa 400 g. Durch eine Hebelübersetzung, verbunden mit einem Zeiger, konnte das Einsinken des Stabes genau verfolgt werden.

Einige der auf diese Weise erhaltenen Messungen sollen hier wiedergegeben werden, wenn es auch kaum als festgestellt gelten kann, daß die Methode zu übereinstimmenden Zahlen führt.

Untersuchte Masse (bei den Temperaturschätzungen wurde angenommen, daß Platin bei 1770° schmilzt)	I	II	III	II	III
	Schmelzpunkt in Grad	Beginn des Einsinkens in Grad	Einsink- geschwindigkeit von 1 mm pro Minute ist er- reicht bei der Temperatur (in Grad)	Differenz III bis II in Grad	Differenz I bis III in Grad
Rakonitzer Schiefer von Dr. Jochum	1760	1475	1710	230	50
Saarauer Kaolin	1750	1320	1700	380	50
Ton von Kährlich	1670	1450	1510	60	160

Bevor wir nun diese Gattung von Öfen verlassen, seien hier noch einige Heizvorrichtungen für Schmelz- und Kristallisationspunktbestimmungen, wie sie im Geophysikalischen Laboratorium in Washington²⁾ angewendet werden und die nur als Beispiele dienen sollen, wie anpassungsfähig die elektrische Heizung ist, kurz angeführt.

Zur schnellen Orientierung über die relative Feuerbeständigkeit von Mineralien und deren Gemische konstruierte man dort den Apparat nach Fig. 26. Der wesentliche Bestandteil desselben ist ein

1) Der Frage über die Druckfestigkeit der Schamottesteine bei hohen Temperaturen beginnt man seit einigen Jahren großes Interesse zu zeigen, da es sich herausgestellt hat, daß für die Lebensdauer der metallurgischen Ofen und namentlich der Luftüberhitzer (Cowper) für die Hochöfen, in denen die glühenden Steine dauernd einem Drucke von 5 bis 6 Atm. ausgesetzt bleiben, die Druckfestigkeit von erheblichem Einflusse ist. Vergl. Stahl und Eisen 1907, Veröffentlichungen von E. Cramer, Fr. Lürmann, Wernicke u. a. und außerdem die Verhandlungen hierüber auf der 27. Hauptversammlung des Vereins Deutscher Fabriken feuerfester Produkte im Februar 1907. (Der Bericht hierüber erschien im Verlage der Tonindustrie-Zeitung, Berlin.)

2) Arthur Day, E. Allen, E. Shepherd, W. White und F. Wright, Tschermaks Mineralogische und petrographische Mitteilungen 1907, Bd. 26, Heft 3.

Einige Heiz-
vorrichtungen
aus dem Geo-
physikalischen
Laboratorium in
Washington

Streifen von reinem Iridium von 2 mm Breite und 10 cm Länge, der zwischen den Elektroden E_1 und E_2 unter konstanter Spannung eingeklemmt war. Unmittelbar unter dem Streifen liegt ein schmaler

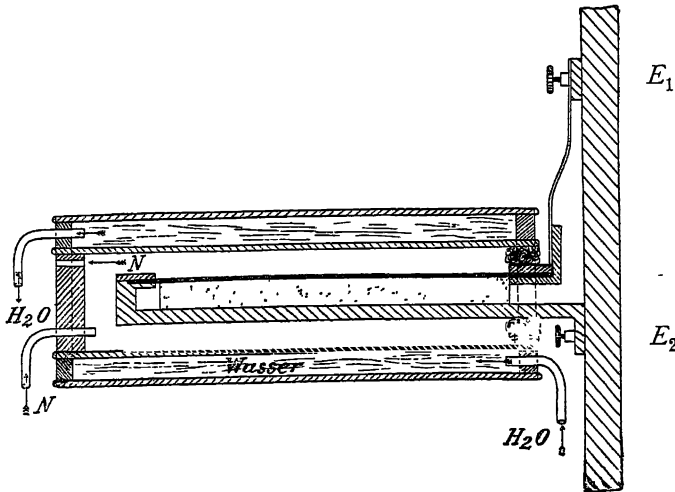


Fig. 26 Heizstreifen zum Vergleich der Schmelzbarkeit

Block von ausgesuchtem Magnesit. Der Streifen und seine Träger sind umschlossen von konzentrischen Glasröhren, zwischen denen kaltes Wasser zirkuliert. Die Atmosphäre unmittelbar um den Streifen war Stickstoff. Selbst bei dieser Vorsichtsmaßregel verflüchtigte sich das Iridium so rasch, daß der Magnesit nach 30 Minuten dauernder Erhitzung schwarz wurde. Man bringt nun eine Reihe winziger Prisen von benachbarten prozentualen Mischungen auf den Iridiumstreifen, der nun zu gleichmäßigem Glühen gebracht wird, und man beobachtet die Reihenfolge, in der die Prisen schmelzen. Die Temperatur zu messen, ist nicht der Mühe wert, das Ergebnis kann nur zur Orientierung dienen und muß durch verlässliche pyrometrische Methoden nachgeprüft werden.

Die Fig. 27 veranschaulicht ein mittels einer Platindrahtspirale geheiztes Öfchen, in welches zwei Thermoelemente

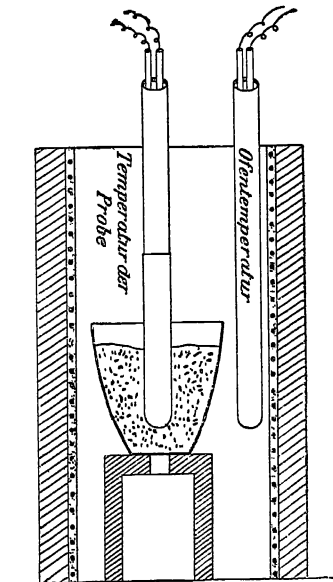


Fig. 27. Tiegelöfchen mit zwei Thermoelementen.

mündeten, wodurch man den Temperaturanstieg im Ofen mit demjenigen der Probe vergleichen kann. Aus der Fig. 28 ersieht man die so gewonnenen beiden Temperaturkurven. Day und Genossen machten dabei die Beobachtung, daß, wenn die Heizspirale nicht aus reinem Platin, sondern, wie es z. B. häufig der Fall ist, aus Platin mit 10 % Iridium besteht, das Iridium selbst in einer Stickstoffatmosphäre langsam verdampft und die Drähte des Thermoelementes,

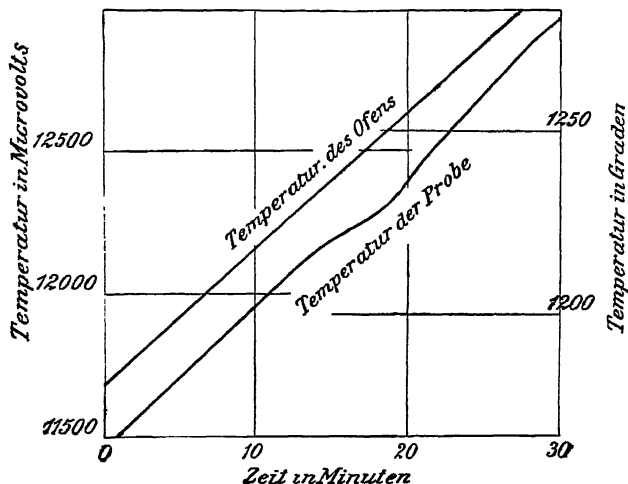


Fig. 28. Temperaturanstieg innerhalb und außerhalb des Tiegels

falls sie frei liegen, auch in den kälteren Teilen des Ofens angreift und zerstört.

Unglasiertes Porzellan schützt nicht vor diesem Iridiumnebel und das Thermoelement zeigt dann zu niedrige Temperaturen an. Der Fehler ist bemerkbar nach einer Stunde (etwa $0,5^{\circ}$) und nimmt allmählich zu bis 50° oder mehr nach einigen Wochen ununterbrochenen Gebrauches. Der Betrag hängt beträchtlich von den angewandten Temperaturen ab. Die Abhilfe ist einfach und sicher: verwende kein Iridium im Ofen, wo mittels Thermoelemente gemessen wird.

Für Temperaturen über 1600° verwendet man dort Iridiumrohröfen¹⁾ mit dem optischen Pyrometer von Holborn-Kurlbaum. Der Ofen (Fig. 29) besteht aus einer geraden Iridiumröhre von etwa 18 cm Länge und 4 cm Durchmesser, die durch Wechselstrom von niedriger Spannung zum Glühen gebracht wird. Die Stromzuführung

1) Erbaut von Heraeus.

zu den Rohrenden geschieht durch Platin- und Silberspangen. Geschmolzene Magnesia dient zur Isolierung, und eine Unterlage von Magnesia trägt einen kleinen Iridiumtiegel in der abgebildeten Stellung. Eine kleine Öffnung im Magnesiadeckel gestattet den Einblick mittels des Pyrometers.

Der Ofen läßt Temperaturen bis 2100° erreichen, und man findet ihn dort als beinahe unentbehrlich für sehr hohe Temperaturen bei oxydierender Atmosphäre.

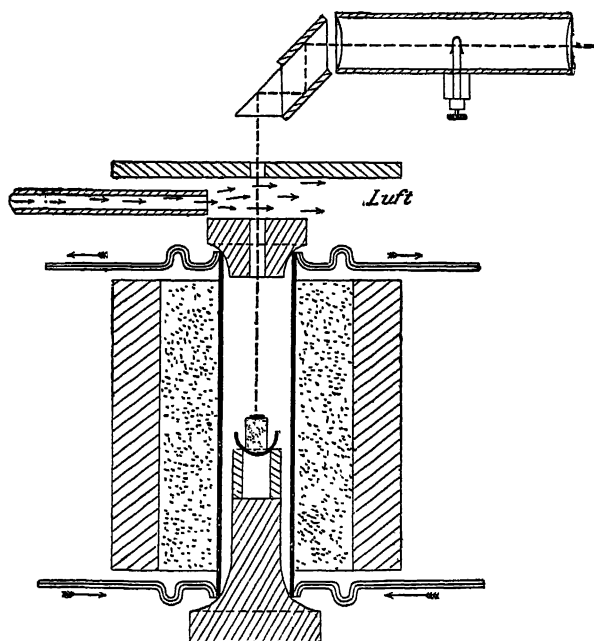


Fig 29. Iridiumrohrföfen.

Zu gleicher Zeit wie die Ausarbeitung der eben beschriebenen Öfen von Hempel, Nernst und Heraeus fand auch die Ausbildung der Konstruktionen des Verf. statt, in welchen als Heizwiderstand feinkörnige elektrisch leitende Kohle angewendet wird. Dank der unermüdlichen Beteiligung des Vorstehers der Chemisch-Technischen Versuchsanstalt bei der Königl. Porzellanmanufaktur in Berlin, Herrn H. Marquardt, gelang es bald, Ausführungsformen zu finden, die den bei Feuerfestigkeitsprüfungen und anderen keramischen Untersuchungen an solche Öfen zu stellenden Forderungen genügten. Ein solcher Ofen¹⁾ besteht aus einer oben offenen, etwa 50 cm langen

Bronns Öfen
mit
Kohlengrieß.

1) J. Bronn, Zeitschr. f. angew. Chemie 1905, Bd. 17, S. 460.

Schamotterinne, die in Eisenblech eingefast ist. An den beiden Enden der Schamotterinne sind möglichst dicht abschließende und von dem Blechmantel isolierte stromführende Platten angebracht. Ein etwas engeres Rohr von etwa 70 mm Durchmesser aus Schamotte, Magnesit oder Marquardtscher Masse wird in die wagerechte Schamotterinne derartig eingesetzt, daß die beiden Rohrenden aus dem Ofen herausragen. Da bei sehr hohen Temperaturen die Röhren zum Durchbiegen neigen, so werden sie durch eine untergelegte Leiste aus feuerfestem Material gestützt. Der Ofen wird nun mit elektrisch leitender Kohle von etwa 1 mm Korngröße beschickt und an die Stromquelle angeschlossen. Im übrigen sei noch auf die weiter unten folgende, von M. Simonis und R. Rieke herührende Beschreibung des Ofens (vergl. S. 87) verwiesen.

Arbeitsweise
mit Kohlen-
grießöfen.

Die Kohlengrießbeschickung reicht fast bis zum Rande der Ofenrinne; sie darf nicht eingestampft werden, da aber auch Hohlräume oder zu lose Lagerung schädlich sind, so wird die Masse mit einem etwa 4 mm starken, mit einem isolierenden Holzgriff versehenen Eisendraht gehörig und in ihrer ganzen Länge durchgestochen, bis die Kohlschicht nicht mehr einsackt. Beim Einschalten beträgt der elektrische Widerstand des Ofens ungefähr 3 Ohm; schließt man ihn direkt an die volle Spannung von 120 Volt an, so sinkt der Ohmwert des Ofens sehr rasch, und ebenso schnell steigt auch die Temperatur. Es ist besser, nicht mit voller Spannung die Anheizung des Ofens zu bewirken, sondern entweder einen Vorschaltwiderstand oder (bei Wechsel- und Drehstromanlagen) die „Nullschienenspannung“¹⁾ zu benutzen. Mit fortschreitender Erhitzung kann die Spannung entweder unter Zuhilfenahme von Vorschaltwiderständen allmählich erhöht oder von der Nullschienenspannung auf die volle Spannung umgeschaltet

1) Die „Nullschienenspannung“ bei Drehstromquellen, d. h. der Spannungsabfall zwischen einer der Phasenklemmen und dem neutralen Punkte (Nullschiene), beträgt knapp mehr als die Hälfte der Phasenspannung (oder genauer $1:\sqrt{3} = \frac{1}{1,74}$ derselben). Beträgt z. B. die Phasenspannung 125 Volt, so ist die Spannung zwischen der Nullschiene und jeder der Phasenklemmen $\frac{125}{1,74} = 72,5$ Volt

Bei ein- und zweiphasigen Wechselstromtransformatoren können die Sekundärwicklungen der beiden Kerne zu besonderen Klemmen geführt werden, die so angeordnet sind, daß die Wicklungen nach Belieben parallel oder ~~einander~~ ^{einander} geschaltet werden können. Je nach der Schaltung erhält man dann zwei Sekundärspannungen, die im Verhältnis von 1:2 bzw. 1:1,4 stehen.

werden. Eine zu schnelle Temperatursteigerung läßt sich auch dadurch vermeiden, daß man von Zeit zu Zeit auf einige Sekunden oder Minuten mittels daneben angebrachten Ausschalters den Strom unterbricht. Durch diese Maßnahme wird die Temperatur innerhalb des zu erhitzenden Rohres gar nicht oder fast gar nicht verringert, weil die das Rohr umgebende körnige Widerstandsmasse eine bedeutende Wärmemenge aufgespeichert enthält und auf eine viel höhere Temperatur als das Rohr erhitzt ist. Solche hin und wieder erfolgenden Stromunterbrechungen beschleunigen den Temperaturausgleich im Ofen.

Das eine der Rohrenden ist durch einen gut passenden Schamottestüpsel verschlossen, und in das andere Rohrende ist ein weites Diaphragmenrohr eingeschoben; vorn ist dieses mit einem etwa 15 mm weiten Schauloch versehen, durch welches der Vorgang im Ofen beobachtet und auch ein Thermoelement eingeführt werden kann. Außerdem stellte sich als zweckmäßig heraus, statt eines einfachen, zwei ineinander eingeschobene Rohre zu verwenden. Das innere Rohr muß sich leicht in das äußere einschieben lassen, damit während des Erhitzens keine Spannungen zwischen den Wandungen der beiden Rohre entstehen.

Die zu brennenden Gegenstände werden entweder direkt in dem Rinnenrohr aufgestellt, oder auf einer etwa 3 cm breiten dünnen Schamotteplatte, die 20 bis 30 cm lang sein kann, eingeschoben, so daß die Untersuchungskörper das Rohr nirgends berühren. Hierdurch wird nicht nur eine gleichmäßigere Erwärmung der Versuchsobjekte bewirkt, sondern das Rohr wird auch geschont. Durch eine große Reihe von Versuchen konnte festgestellt werden, daß im Inneren des Rohres auf einer Länge von 25 bis 30 cm eine für Feuerfestigkeits- und ähnliche Untersuchungen genügend gleichmäßige Temperatur erzeugt wird, so daß man mit Leichtigkeit mehrere zu prüfende Körper erhitzen und vergleichen kann. Bei Prüfung der Segerkegel konnten bis etwa 30 Nummern gleichzeitig erhitzt werden. Damit man sie alle gut übersieht, wählte Marquardt die Anordnung nach Fig. 30.

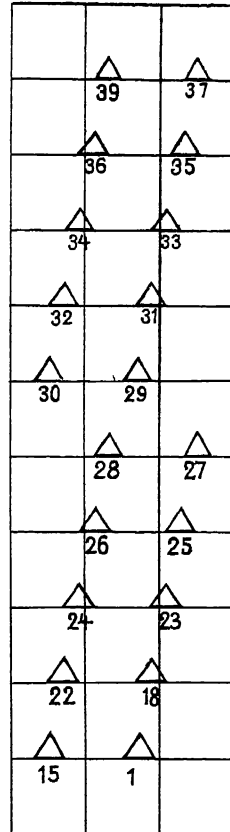


Fig 30. Anordnung der Schmelzkegel

Da bei den Versuchen stets auch eine schematische Aufzeichnung der Aufstellungsweise der Kegel gemacht wurde, so konnte der Zustand der Kegel selbst dann überwacht werden, wenn aus irgendeinem Grunde die Nummer des Kegels unleserlich blieb¹⁾ Ist der eine Versuch beendet, so können mittels einer langen Eisenzange die Gegenstände bezw. die Platten aus dem Rohre herausgeholt und neue Versuchsobjekte eingeschoben werden, ohne daß der Strom unterbrochen oder gar der Ofen abgekühlt zu werden braucht

Oft wurden genaue Aufzeichnungen über jeweilige Stromstärke und Klemmenspannung für die Dauer eines ganzen Brandes gemacht, und damit man einen besseren Überblick über den Gang des Ofens bekommt, seien hier zwei aufeinanderfolgende Schmelzversuche genau beschrieben.

In ein bereits mehrfach benutztes Doppelrohr mit ebenfalls schon benutzter Kohlengrießbeschickung wurden auf einer Platte die Segerkegel 11²⁾, 19, 20, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31 und 32 hineingeschoben und der Ofen an die Nullschienenspannung angeschlossen.

Eigentümliche Veränderungen weist der Ohmsche Widerstand des Ofens auf. Wie aus den in Spalte 5 angeführten Zahlen ersichtlich, sank zunächst der Widerstand auf weniger als ein Drittel seines ursprünglichen Wertes und begann dann wieder anzusteigen; jedesmal, wenn die Klemmenspannung des Ofens erhöht wurde, trat wiederum zunächst ein Sinken, dann aber ein Ansteigen des Ohmwertes ein. Es dürfte schwer sein, dies Verhalten auf den positiven Leitfähigkeitskoeffizient der Kohle und auf die Verringerung der Kohlenmenge während des Versuches infolge der Verbrennung zurückzuführen, da die Zunahme der Leitfähigkeit der Kohle. mit steigender Temperatur, soweit Bestimmungen darüber vorliegen, sehr gering ist. Nach Ansicht des Verfassers sind hierbei noch die Absorptionsfähigkeit der Kohle für Gase, die Wärmeleitung der

1) Bei Anwendung eines Diaphragmenvorsatzes als Vorderverschluß wird nur wenig Hitze nach vorn ausgestrahlt, so daß der Beobachter in einer Entfernung von 10 bis 15 cm vom Schauloch bleiben kann Um von der blendenden Glut nicht belästigt zu werden, empfiehlt sich die Anwendung von violetten Glasscheiben. Es ist besser, Scheiben aus dünnerem Glas zu wählen, da die starken leicht springen, und sie mit Pappe zu umrahmen; auf diese Weise kann die Scheibe, selbst wenn sie Sprünge bekommt, benutzt werden.

2) Der Kegel 11 sollte als „Wachter“ dienen und zum Beginn genauer Beobachtung mahnen.

Beobachtete Werte			Berechnete Werte		
1	2	3	4	5	
Zeitangabe nach Beginn in Minuten	Spannung in Volt (e)	Stromstärke in Amp (i)	jeweilige Wattzahl $e \cdot i$ (abgeundet)	Ofenwiderstand e in Ohm i	
Beim Einschalten }	ca. 70	24	1700	2,92	Volle Nullschienenspannung
8	" 70	40	2800	1,75	
13	" 70	43	3000	1,63	
16	" 70	46	3200	1,52	
20	" 70	49	3400	1,43	
22	" 70	50	3500	1,4	
30	" 70	54	3800	1,29	
37	" 70	61	4300	1,15	
43	" 70	65	4550	1,07	
49	" 70	70	4900	1,0	
57	" 70	75	5250	0,935	
61	" 70	79	5500	0,89	
66	" 70	82	5700	0,855	
71	" 70	85	5950	0,825	
74	" 70	84	5900	0,835	
75	" 70	83	5800	0,845	
80	" 70	78	5500	0,9	
85	" 70	70	4900	1,0	
88	" 70	66	4600	1,06	
	umgeschaltet				Auf volle Phasenspannung umgelegt, Widerstand vorgeschaltet.
90	81	77	6200	1,05	
91	80 ¹⁾	79	6300	1,01	
93	80	82	6550	0,975	
98	80	82	6550	0,975	
101	80	81,5	6500	0,98	Kegel 11 umgeschmolzen.
105	81	80	6500	1,01	
					Durch Ausschaltung eines Teiles des Regulierwiderstandes Spannung erhöht.
108	92	93	8500	0,99	
111	91	101	9300	0,9	
113	90	101	9150	0,89	
117	90	95	8550	0,95	
118	90	95	8550	0,95	Kegel 19 u 20 schmelzen gleich nacheinander. Kegel 25 u. 26. " 27. " 28. " 29. " 30. " 31. " 32.
119	91	95	8650	0,96	
121	93	94	8700	0,99	
125	93	92	8550	1,01	
126	93	91	8450	1,02	
128	94	90	8450	1,04	
132	94	80	8100	1,09	

1) Diese und andere kleine Spannungsschwankungen rühren teils von den Schwankungen im Straßennetz, teils von der Veränderlichkeit des Ofen- und Regulierwiderstandes, hauptsächlich jedoch von Erschütterungen des Ofens her.

Ofenmaterialien und die Wärmeökonomie des Ofens von großem Einflusse.

Solange dem Ofen mehr Energie (in Form von Elektrizität) als der Wärmeabgabe nach innen und außen entsprechend zugeführt

wird, steigt die Temperatur der Kohlenmasse; infolge der gleichzeitig damit eintretenden Ausdehnung der eingeschlossenen Gase werden die einzelnen Kohlengrißpartikelchen, da ihre freie „Ausdunstungsfläche“ unvergleichlich größer als ihre Berührungsfläche ist, enger aneinander gepreßt, wodurch der elektrische Übergangswiderstand erheblich verringert wird. Mit steigender Temperatur erhöht sich die Wärmeleitfähigkeit der Ofenwandungen, die Wärmeabgabe wird immer größer, bis sie der Energiezufuhr gleichkommt und sie zuletzt übersteigt. Die Temperatur der Widerstandsmasse bleibt stationär oder geht sogar zurück, der Gasdruck innerhalb der Kohlenmasse läßt nach, und der Widerstand steigt. Wird nun die Klemmenspannung erhöht, so erfolgt durch die so hervorgerufene Vermehrung der Energiezufuhr eine Temperatursteigerung und mit ihr tritt auch ein Gasüberdruck und Widerstandsverringern ein, die dann nach und nach, wie oben geschildert, ausklingen.

Von welchem Einflusse hierbei die Druckverhältnisse der in der Kohlenmasse eingeschlossenen Gase sind, geht daraus hervor, daß in einem Liter des angewandten Kohlengrißes etwas knapp mehr als die Hälfte Kohlensubstanz ist, und daß selbst die härtesten Kohlemodifikationen (Kokosnußkohle) unter gewöhnlichem Drucke und Zimmertemperatur

etwa das	7	fache	ihr	eigenen	Volumens	an	Stickstoff,
„	„	18	„	„	„	„	Sauerstoff,
„	„	21	„	„	„	„	Kohlenoxyd,
„	„	67	„	„	„	„	Kohlensäure,

zurückhalten. Die Außerachtlassung dieser Umstände war wahrscheinlich der Hauptgrund, warum die seit Jahrzehnten vorgeschlagene Benutzung von Kohlengriß als Heizwiderstand sich nicht einbürgern konnte ¹⁾.

Etwa 3 Stunden nach dem hier beschriebenen Brennversuche wurde in das fast ganz abgekühlte Rohr eine neue Schamotteplatte mit den Segerkegeln 020, 010, 03, 02, 12, 23, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37 und 38 von der Rückseite eingeschoben und der Ofen, an dem nichts geändert wurde, eingeschaltet.

1) J. Bronn, Elektrotechn. Zeitschr. vom 1. März 1906; die Berücksichtigung dieser Absorptionserscheinungen der Kohle erwies sich als nützlich auch bei elektrometallurgischen Schachtöfen, namentlich bei der Eisenerzeugung nach Haanel-Heroult. (Report of Experiments made at Sault-Ste-Marie, Ontario, by E. Haanel, Superintendent of mines. Ottawa 1907, S. 87; vergl. außerdem Elektrochemische Zeitschr., Juliheft 1907, S. 80.)

Da kein frischer Kohlengrieß nachgeschüttet wurde, konnte man infolge des relativ hohen Widerstandes die Klemmenspannung in viel schnellerem Tempo erhöhen. Der Verlauf des zweiten Brandes gestaltete sich wie folgt:

1	2	3	4	5	
Zeitangabe nach Beginn in Minuten	Span- nung in Volt (e)	Strom- stärke in Amp (z)	Jewellige Wattzahl e · z (abgerundet)	Ofen- widerstand e in Ohm z	
Beim Ein- schalten }	70	25	1750	2,8	Volle Nullschienenspannung
4	70	30	2100	2,25	
6	70	33	2300	2,13	
11	70	38	2550	1,84	
21	70	44	3100	1,59	
28	70	45	3150	1,56	
					Auf volle Schienenspannung umgelegt mit vorgeschaltetem Widerstande (Rheostat).
29	80	56	4450	1,43	
32	80	58	4650	1,38	
37	78	60	4650	1,3	Kegel 020 niedergeschmolzen.
38	78	60	4650	1,3	Spannung erhöht.
42	80	62	4950	1,29	
45	80	63	5000	1,27	Kegel 010 niedergeschmolzen. Spannung erhöht.
49	85	66	5600	1,29	
53	84	68	5700	1,23	Spannung erhöht.
58	92	74	6800		
62	89,5	77	6900		
65	88	78	6900		Kegel 03 niedergeschmolzen.
67	89	72	6400		" 02 Spannung erhöht. "
68	96,5	85	8100	1,13	
73	98,5	81	8000	1,21	
79	97	88	8500	1,10	
83	95	97	9200	0,98	Kegel 12 niedergeschmolzen.
88	94,5	98	9250	0,97	Spannung erhöht.
89	100	108	10800	0,92	Kegel 23 niedergeschmolzen.
90		unverändert			" 25 "
91	99,5	110	10950	0,905	" 26. "
92		unverändert			" 27. "
95	100	107	10700	0,935	" 29 ¹⁾ . "
96	100	107	10700	0,935	" 30. "
97		unverändert			" 31. "
98	101	104	10500	0,97	" 32. "
101	101	102	10300	0,99	" 33 und gleich danach 34.
104	104	93	9650	1,13	
110	105	90	9450	1,16	Kegel 35 biegt um.

1) Der Kegel 28 konnte nicht beobachtet werden, da er beim Hineinschieben der Platte umfiel

Aus den hier angeführten Messungen ist ersichtlich, daß selbst bei zwei nacheinander in ein und demselben Apparate ausgeführten

Versuchen die Stromverhältnisse wesentlich verschieden waren. Der Charakter der Stromveränderungen ist aber der nämliche, und nach sehr kurzer Zeit gewöhnt sich der Experimentator, mit diesem Ofen ebenso sicher zu manipulieren, wie z. B. mit einem Gasofen. Wie es auch aus den Kurven I und II (Fig. 31) hervorgeht, die die gesamten im Ofen während der soeben besprochenen Versuche 1 und 2 in Wärme umgesetzten Energiemengen (in Kilowattminuten berechnet) darstellen, kann aus der jeweiligen Stromstärke und Spannung auf die im Ofen zurzeit herrschende Temperatur mit Sicherheit nicht geschlossen werden. Wie man aus Fig. 31 ersieht, sind in beiden Fällen nahezu

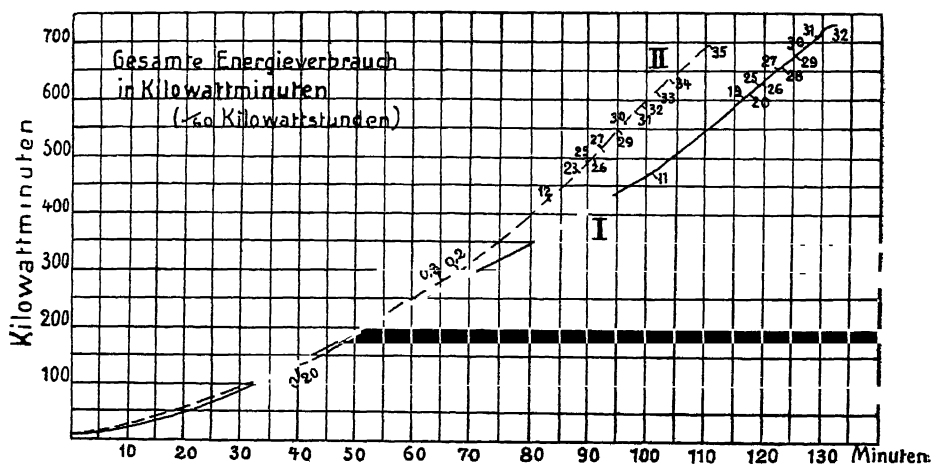


Fig 31. Temperatur im Kohlengrießofen.

die gleichen Elektrizitätsmengen (etwa 700 Kilowattminuten = fast 12 Kilowattstunden) pro Brand verbraucht. Da aber beim Beginn des Versuches 2 der Ofen noch etwas warm war, und weil vor allem die gleiche Energiemenge dem Ofen in einer um 22 Minuten kürzerer Zeitdauer zugeführt wurde, so konnte bei diesem Versuche eine erheblich höhere Temperatur erzielt werden. In der Annahme, daß durch die Vorschaltwiderstände und den Transformator noch etwa weitere 25 % an Energie verloren gehen, stellt sich der Gesamtverbrauch an Elektrizität für einen solchen Brand auf etwa 15 Kilowattstunden.

Bei Anwendung von Röhren aus Marquardtscher Masse gelingt es, den Kegel 32 niederzuschmelzen, ohne die Röhren zu gefährden; bei vorsichtiger Arbeitsweise, d. h. wenn man die Temperaturerhöhung durch entsprechende Spannungsregulierung nur langsam vornimmt, gelingt es auch, den Kegel 35 darin niederzuschmelzen, wobei das

Rohr infolge der viel höheren Temperatur innerhalb des Kohlengrießes etwas erweicht und seinen runden Querschnitt verliert.

Mitunter entstehen im Rohre, nachdem die Kegel 32 bis 33 niedergeschmolzen sind, weiße dicke Nebel von verdampfenden Oxyden, meistens von Siliziumdioxyd, die beim Entweichen durch das Schauloch kondensiert und als käsiger weißer Niederschlag gesammelt werden können. Im Rohre dagegen setzen sich diese Dämpfe mitunter als Knäuel von feinen glänzenden nadelförmigen Kristallen ab.

Nach einigen Bränden muß der Kohlengrieß gehörig durchgestochen und die Ofenrinne mit frischem Kohlengrieß nachgefüllt werden. Da der benutzte Kohlengrieß meistens unterhalb 0,15 % Asche enthält, so kann durch Verbrennen von etwas Kohlenstoff die Zusammensetzung der Heizmasse sich nicht wesentlich verschieben.

Sollen noch höhere Temperaturen erreicht werden, so müssen Magnesiarohre benutzt werden; in diesen gelingt es auch, den Kegel 37 niederschmelzen

Ähnliche Röhrenöfen, aber von bedeutend größeren Abmessungen, wurden auch zum Schnellbrennen von Porzellan benutzt. Da der Brand nur 1 bis 1½ Stunden dauert, so kann man in der Regel um zwei Kegel höher brennen als im Betriebsofen, wodurch man erzielt, daß der Scherben in seiner ganzen Dicke gleichmäßig verglast, ohne jedoch daß der Gegenstand seine Form verliert.

Um reduzierende Atmosphäre im Rohrrinnern zu vermeiden, werden beim Porzellanbrennen von innen glasierte Röhren genommen und auf diese Weise konnten auch Farben wie Pink, Kobalt, Weiß und Grün in jeder gewünschten Nuance klar entwickelt werden.

Zum Brennen von größeren Gegenständen empfiehlt sich der Übergang zu stehenden Öfen, bei welchen allerdings die ununterbrochene Beobachtung des Erhitzungsraumes nicht so bequem als bei der Horizontalordnung ist.

Eine größere Anlage für diese Heizart richtete der Verfasser in der Chemisch-Technischen Versuchsanstalt bei der Königl. Porzellanmanufaktur in Berlin ein. Sie enthält eine eigene Transformatorstation für 60 Kilowatt, die an das Charlottenburger Drehstromstraßennetz angeschlossen ist. Die Sekundarspannung beträgt auch hier 125 Volt; außerdem geht eine starke Leitung von der Nullklemme („neutraler Punkt“) der Transformatoren ab; der Spannungsabfall zwischen dieser Nullschiene und jeder der Phasenschiene beträgt etwa 70 Volt. Die Fig. 32 u. 33 zeigen den Ofenraum, wie

Kohlengrießofen
in der Chem.-
Techn. Versuchs-
anstalt der
Kgl. Porzellan-
manufaktur in
Berlin

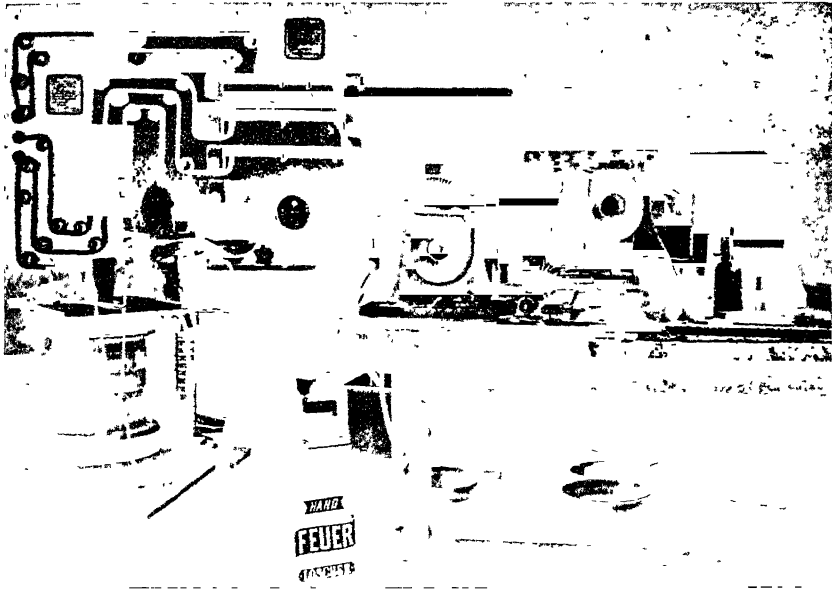


Fig 32. Ofenraum in der Chem.-Techn Versuchsanstalt im Jahre 1905.



Fig. 33 Ofenraum in der Chem.-Techn Versuchsanstalt im Jahre 1907.

er 1905 und 1907¹⁾ aussah. H. Marquardt und seine Mitarbeiter M. Simonis und R. Rieke widmeten sich mit großer Hingabe und viel Geschick der Vervollkommnung der geschilderten Öfen und der Nutzbarmachung dieser Heizart zur Erweiterung der Temperatur-

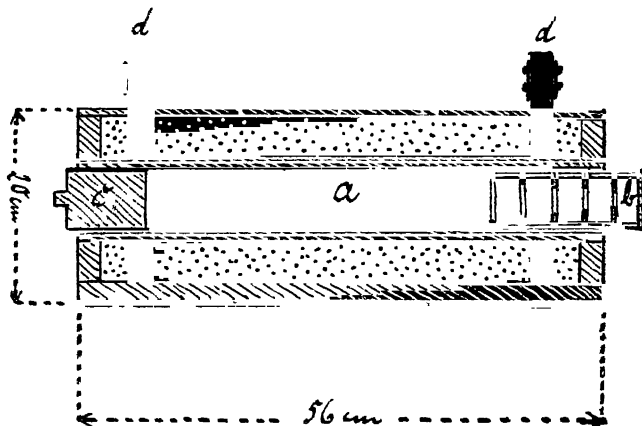


Fig 34. Liegender Röhrenofen. Längsschnitt

grenzen für die keramische Forschung um etwa 350°. Sämtliche im vorhergehenden Abschnitte besprochenen Arbeiten aus diesem Institut sind in solchen Öfen ausgeführt worden. Über die mit dieser Heizweise dort gemachten Erfahrungen berichteten Simonis und Rieke²⁾ wie folgt:

„Liegende Röhrenöfen bis etwa Segerkegel 35. Die Fig. 34 stellt einen Längsschnitt dar, bei dem der besseren Übersicht wegen die der Unterstützung dienenden Schamotteteile fortgelassen sind. Die Schamotte ist durch Schraffierung gekennzeichnet. *a* ist das Heizdoppelrohr, der Zwischenraum der beiden Rohre wurde meist mit Tonerde ausgefüllt. Das Diaphragmenrohr *b* ist mit dem Heizrohr fest verbunden. Stöpsel *c* ist leicht zu entfernen. Die

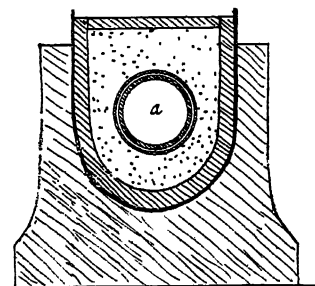


Fig 35 Liegender Röhrenofen. Querschnitt.

1) Da das Ofenzimmer ursprünglich mit Holzdielen versehen war und außerdem wertvolle Sammlungen enthielt, so hat man auch Löschvorrichtungen vorgesehen, die jedoch nie gebraucht wurden.

2) Mitteilungen aus der Chemisch-Technischen Versuchsanstalt bei der Königl. Porzellanmanufaktur; Sprechsaal 1906, Bd. 39, Nr. 14 u. 15; Z. f. angew. Chemie 1906, Bd. 19, S. 1231.

Elektroden d sind beiderseits von Heizmasse umgeben, und die Schamottedeckel sind fest verschmiert. Fig. 35 stellt einen Querschnitt durch die Ofenmitte dar. Die Schamotterinne liegt in einem etwa 1 mm starken Eisenblech. Der allenfalls entstehende Zwischenraum wird mit Schamotte ausgegossen. Der Ofen ruht auf drei starken Schamotteträgern von der in der Fig. 35 ersichtlichen Form. Als Elektrizitätsquelle wurde Dreiphasenstrom benutzt, der zwei Spannungen von 70 und 120 Volt gestattete. Man beginnt am besten mit etwa 70 Volt, wodurch die Stromstärke bei den angegebenen Ofendimensionen auf ungefähr 50 Amp. gebracht wird. Es empfiehlt sich, im Anfang des Brandes durch Vorschalten von Widerständen die Stromstärke einigermaßen konstant zu halten, die sich andernfalls durch die mit der Temperatur zunehmende Leitfähigkeit der Heizmasse zu steigern sucht. Später geht man dann durch Ausschalten von Widerständen zu erhöhten Stromstärken über und kann dann mit 70 Volt und etwa 100 Amp. in etwa drei Stunden bis Segerkegel 30 kommen. Natürlich hat man es in der Hand, jederzeit durch kurze Stromunterbrechung oder Vermehrung der Vorschaltwiderstände den Temperaturanstieg zu verlangsamen. Während das Ansteigen zur gewünschten Temperatur mit beliebiger Schnelligkeit gut vonstatten geht, ist es schwieriger, die Temperatur längere Zeit auf gleicher Höhe zu halten. Falls man etwas schnell in der Erhitzung vorging, so wird die Temperatur nach Ausschalten des Stromes noch etwas steigen; will man also keinesfalls höher als zu einem bestimmten Kegel erhitzen, so legt man die letzte Strecke des Temperaturanstieges unter öfterem Ausschalten, also sehr langsam zurück, wodurch man die Wirkung der Nachglut vermeidet.

In derselben Art wurde des weiteren ein Röhrenofen mit 9 cm lichter Weite des Heizrohres gebaut und auch dieser bewährte sich. Noch weiter in der Vergrößerung des Heizraumes gingen wir bei liegenden Röhrenöfen nicht.“

„Stehende Öfen. Ein großer Vorteil der stehenden Öfen besteht darin, daß sie einen fast vollkommenen Abschluß der Heizmasse von der Luft gestatten, daß also die Kohlenoxydentwicklung nahezu beseitigt wird und nur ganz minimale Mengen von Kohlengrieß zur Verbrennung kommen. Ein zweiter Fortschritt besteht darin, daß ein stehendes Heizrohr viel besser dem Durchbiegen durch die Hitze Widerstand entgegengesetzt als ein liegendes, daß man also relativ höher in der Erhitzung gehen kann; auch läßt sich leicht, selbst ohne Abdichtung durch Glasur, rauchfreies Brennen erzielen, da das dauernde Durchstreichen der Luft durch das von

allen Seiten mit glühender Kohle umgebene Rohr nahezu vermieden wird und so der Entstehung reduzierender Gase vorgebeugt ist. Der einzige Nachteil ist die unbequemere Beobachtung während des Brennens; denn man sieht die eingesetzten Gegenstände und Kegel nicht im Profil, sondern in der Draufsicht und wird durch die Hitzeausstrahlung etwas mehr belastigt. Doch gewöhnt man sich bald an die Erkennung des Einsatzes auch bei den stehenden Ofen und macht sich auch hier die Ausstrahlung erträglich durch ein aufgesetztes Diaphragmenrohr und eventuelle Benutzung einer größeren Buntscheibe. Die erwähnten Vorteile wiegen die unbequemere Handhabung so reichlich auf, daß wir fast stets die stehenden Öfen den liegenden vorzogen. Es werden im folgenden drei Typen von stehenden Öfen erläutert, mit denen es möglich ist, sowohl in bezug auf die Höhe der erreichten Temperatur in dem kleineren der geschilderten Versuchsofen dasselbe wie mit dem bekannten Devilleschen Ofen zu leisten, als auch in den anderen einen verhältnismäßig großen Raum zu erhitzen. Die Grenze der Benutzungsmöglichkeit dieser Öfen liegt nur in der Schmelzbarkeit des Baumaterials, und es ist klar, daß infolgedessen die Temperaturgrenze durch Vergrößerung des Ofens etwas herabgesetzt wird. Indessen gelang es, selbst in dem Ofen Nr. 3 einen Raum von etwa 30 cm Höhe und 12 cm Durchmesser bis auf Segerkegel 35 zu erhitzen, während Nr. 2 mit kleineren Abmessungen eine noch höhere Steigerung der Temperatur gestattet.

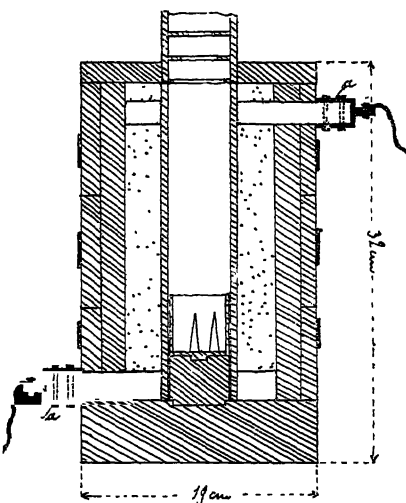


Fig 36 Stehender Ofen

Fig. 36 ist ein Vertikalschnitt durch den kleinsten der drei stehenden Öfen, der speziell für höhere Temperaturen benutzt wurde. Er ruht auf einer 5 cm dicken Schamotteplatte von 19 cm Durchmesser. In ihrer Mitte befindet sich eine Vertiefung zur Aufnahme des Tiegeluntersatzes nebst Tiegel, wie diese für die Feuerfestigkeitsbestimmungen im Devilleschen Gebläseofen gebräuchlich sind. Diese sind umgeben von dem 25 cm langen Heizrohr aus *F*-Schamotte, dessen Wandstärke etwa 5 mm beträgt. Die Dicke der Kohlschicht beträgt etwa 3 cm. Die Elektroden bestehen aus Acheson-Graphit von 25 mm Stärke, sind fest montiert und in entsprechende Aus-

sparungen der Schamottemäntel dicht eingefügt. Der äußere der letzteren besteht aus mehreren Ringen, die durch Eisenbänder zusammengehalten werden, während der innere Mantel aus einem Stück hergestellt ist. Sehr wesentlich ist es, daß die Eisenteile *aa* bis an den äußeren Schamottemantel reichen, weil die nicht mit Eisen armierte Graphitelektrode bei Luftzutritt der Zerstörung sehr schnell anheimfällt. Der Ofen ist durch einen dicht anschließenden Schamotte-deckel verschlossen, in dessen Mitte auf das Heizrohr ein Diaphragmenrohr aufgesetzt wird. Der Ofen wird mit geringer Stromstärke angeheizt, man kann jedoch sehr bald auf etwa 100 Amp. übergehen und erreicht in etwa 1½ Stunde Segerkegel 35. Bei unvorsichtiger, zu schneller Erhitzung können Lichtbögen entstehen, die bei der geringen Wandstärke des Heizrohres dieses bald an der betreffenden Stelle durchschmelzen. Zugleich hat eine derartige Überhitzung an einzelnen Punkten die Sublimation von Kieselsäure zur Folge, die sich an den kälteren Teilen des Ofens niederschlägt und in langen, weißen Fäden die Luft ringsum erfüllt, wie es schon Moissan bei seinem Ofen beobachtet hat¹⁾. Gleichzeitig bilden sich an den durchgeschmolzenen Stellen und in ihrer Nähe verschiedenartige Reaktionsprodukte in Form verfilzter Nadeln und farbiger, wie Schimmel aussehender Überzüge, die jedoch nicht näher untersucht wurden.

Bei einiger Vorsicht läßt sich noch Segerkegel 37 umschmelzen, ohne daß das Schamotterrohr dabei zerstört wird. Auch für schwer schmelzbare Fritten ist dieser Ofen gut brauchbar, indem man für Bodenplatte und Tiegeluntersatz eine Durchlochung vorsieht und einen Tiegel mit Tropföffnung verwendet. Durch entsprechende Abänderung der Schamotteunterlage kann der Ofen auch so eingerichtet werden, daß man den Tiegel jederzeit nach unten herausnehmen kann, wenn man eine weitere Einwirkung der Hitze vermeiden will. Um die Grenze der Temperaturhöhe, die bei der Schmelzbarkeit unserer *F*-Schamotte bei etwa Segerkegel 37 liegt, höher hinauszuschieben, wurden noch andere Materialien, wie Magnesia, Tonerde, Marquardtsche Masse, Karborund als Baumaterial für das Heizrohr verwendet, und so gelang es, auch Segerkegel 39 niederzuschmelzen. Jedoch treten bei Anwendung der genannten Materialien noch viele Schwierigkeiten auf. Versuche, diese zu beseitigen, sind bereits von uns in die Wege geleitet.“

In einem besonderen Nachtrage hierüber teilt Simonis²⁾ noch folgendes mit:

1) Moissan, Elektrischer Ofen. Übers. von Zettel, bei Krayn (Berlin).

2) Sprechsaal 1907, Bd. 40, Heft 1.

1. „Da die Magnesia bis zu ihrem Schmelzpunkte fortwährenden Veränderungen unterliegt¹⁾ (Zunahme der Dichte von 3,19 bis 3,65, Schwindung, Reißen), so versagt bei Temperaturen zwischen Platinschmelze und Magnesiaschmelze (Seegerkegel 36 bis 42 und höher) jedes niedriger, also etwa im Hartporzellantgutbrand gebrannte Material, wenn größere Gegenstände daraus zu erhitzen sind. Dagegen kann man in Heizröhren aus geschmolzener Magnesia auch das Niedergehen der Seegerkegel 37 bis 42 beobachten.

2. Als Heizrohr für klaren Brand bis etwa 1300° eignen sich Muffeln und Tiegel aus Quarzglas²⁾, die gasdicht sind, nicht springen und jetzt zu niedrigem Preise käuflich sind.

3. Als schwer schmelzbares Material, das in hervorragender Weise Temperaturschwankungen erträgt, eignet sich Karborund verschiedener Körnung, den man etwa durch Kaolin bindet.“

Wie anderseits Herr Dr. M. Buchner dem Verf. mitteilte, haben sich bei den elektrischen Kohlengrießöfen Gerätschaften aus geschmolzenem Aluminiumoxyd (Korundgefäße) sehr gut bewährt.

„Versuchsöfen mit größerem Heizraum Beim Bau dieses Ofens wurde bezweckt, das, was man mit dem bekannten Seger-Heinecke-Ofen erreicht, auf elektrischem Wege zu verwirklichen, wodurch ein etwa dreimal größerer Raum, als ihn dieser Gasversuchsöfen bietet, bequem und gleichmäßig erhitzt werden konnte. Zugleich wurde sein Temperaturbereich bis auf Seegerkegel 35 ausgedehnt. Daß die Erhitzung bei allen Temperaturen eine sehr gleichmäßige war, zeigte sich durch das fast gleichzeitige Umgehen von Seegerkegeln, die an verschiedenen Punkten des Heizraumes aufgestellt wurden. Infolge der Ausstrahlung ist natürlich die Temperatur im obersten Teile des Rohres eine etwas geringere als an der Sohle. Immerhin konnte bei sechs übereinander gestellten Etagen von Seegerkegeln festgestellt werden, daß die Temperaturhöhe von oben nach unten gleichmäßig zunahm und der Temperaturunterschied weniger als einen Seegerkegel betrug. An Stelle der Graphitelektroden, die nicht leicht in den nötigen Dimensionen zu beschaffen sind, wurden an diesem Ofen Elektroden aus 5 mm starkem Eisenblech angebracht. Ihr Durchschmelzen wurde dadurch verhindert, daß der Heizquerschnitt an den Stromzuführungen bedeutend vergrößert wurde. Durch diese Verminderung des Widerstandes bleibt die Temperatur an dem Eisen-

1) Moissan, Elektrischer Ofen.

2) Gemeint wahrscheinlich das „Halbquarzglas“, vergl. dieses im Abschnitte über Quarzglas.

blech bedeutend unter der für den Heizraum erreichbaren Höhe. Was die Haltbarkeit der Eisenelektroden betrifft, so bieten die stehenden Öfen vollkommenen Schutz gegen das Verbrennen der unteren Elektrode, von der die Luft sehr leicht fernzuhalten ist. Ebenso genügt der Druck der Heizmasse und des Ofens selbst, um die Entstehung von ungleichmäßiger Lagerung der Heizmasse und Lichtbögen hier auszuschalten. Das Hauptaugenmerk war also stets darauf zu richten, daß die obere Elektrode vor Luftzutritt geschützt wurde, und daß ihre Berührung mit der Heizmasse eine innige blieb

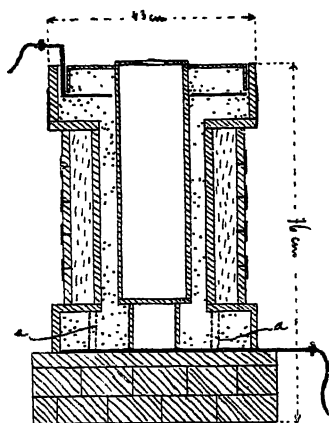


Fig. 37 Stehender Kohlengrießofen.

Dieses wurde durch folgende Anordnung erreicht, die aus Fig. 37 ersichtlich ist.

Die der Stromzuführung dienende Eisenplatte liegt beweglich auf der Kohle auf, ist auch auf ihrer oberen Seite von Heizmasse umgeben und kann durch den Schamottedeckel stets fest aufgepreßt werden. Das Verbrennen von Kohlengrieß ist bei diesem Ofen kaum der Rede wert, so daß man eine größere Anzahl von Bränden (sechs bis zwölf je nach der Höhe der erreichten Temperatur) machen kann, ohne nachfüllen zu müssen. Man vergewissert sich nur von Zeit zu Zeit, ob die obere Elektrode noch fest auf der Kohle aufliegt, indem man während des Brandes einen erhöhten Druck auf den Schamottedeckel ausübt, wodurch die Amperezahl nur um wenig gesteigert werden darf.

Solange die Elektrode noch nicht in der geschilderten Art beweglich angeordnet war, konnten mitunter infolge schlechter Berührung mit der unter ihr befindlichen Heizmasse Lichtbögen entstehen, die ein Durchschmelzen des Eisens an den betreffenden Stellen mit sich brachten. Übrigens konnten derartig beschädigte Elektroden durch Aufschrauben von Eisenblechstücken und Verschmieren der schadhaften Stellen mit einem Gemisch von Graphit und Dextrin wieder gebrauchsfähig gemacht werden.

Der Ofen, der sich sehr gut in einem Zimmer mit Holzdielenbelag aufstellen läßt, falls man ihn nur auf einige Schamottesteine montiert, ist in seiner wesentlichen Einrichtung ohne weiteres aus Fig. 37 ersichtlich. Die untere Elektrode ist eine Kreisscheibe von etwa 38 cm Durchmesser mit Ansatz. Auf ihrer Mitte steht ein Ring, der auf einer Platte das Heizrohr trägt 7 bis 8 cm über der

Elektrode verengert sich der Querschnitt der Heizmasse; den Übergang vermittelt eine ringförmige Schamotteplatte, die durch vier Träger *a* gestützt wird, um die auf ihr ruhende Last aushalten zu können. Die Schicht der Heizmasse ist bei diesem Ofen 4 cm stark, um das durch die größere Entfernung der Elektroden hervorgerufene Mehr an Widerstand auszugleichen. Der die Heizmasse umgebende Mantel besteht aus verschiedenen Ringen, auf diese folgt nach außen hin eine Schamotteschicht von einigen Zentimetern und zuletzt Kapselringe, die durch eiserne Bänder zusammengehalten werden.

Infolge der größeren Wärmekapazität dieses Ofens ist sein Temperaturanstieg naturgemäß langsamer als beim vorhergehenden; doch kann man in einigen Stunden eine Temperatur von Segerkegel 30 erreichen, indem man einen Strom von 120 bis 150 Amp. hindurchschickt.

Der Ofen eignet sich gut für alle Brände, ausgenommen Feuerfestigkeitsbestimmungen über Segerkegel 30. Ein großer Vorteil besteht darin, daß die Atmosphäre in seinem Innern nicht reduzierend ist, wie die folgenden Analysenzahlen erkennen lassen.“

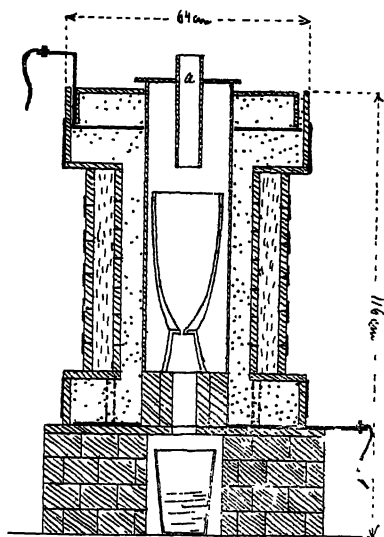


Fig 38. Frittschmelzofen mit einem Heinecketiegel.

Temperatur	CO ₂ ‰	O ₂ ‰	CO ‰
Dunkle Rotglut . .	2,6	17,7	0,4
Segerkegel 1. . .	10,0	10,2	—
„ 9. . .	14,1	6,0	0,1

„Großer Frittschmelzofen. Infolge der guten, mit dem vorherigen Ofen erzielten Resultate gingen wir noch weiter in der Vergrößerung des Heizraumes und gelangten so zu dem in Fig. 38 dargestellten Frittschmelzofen mit kontinuierlichem Betriebe. In seinem wesentlichen Aufbau entspricht derselbe, wie aus der Abbildung zu ersehen ist, dem Ofen nach Fig. 37, nur mußte die untere Elektrode hier natürlich auch ringförmig gestaltet werden.

Die Dicke der Kohlschicht beträgt etwa 5 cm. Auf der Schamottebodenplatte, umgeben von der Elektrode, stehen zwei kon-

zentrische Schamotterringe, deren äußerer das Heizrohr, der innere den Untersatz für den Tropftiegel trägt. Der innere Durchmesser des Heizrohres beträgt 22 cm, seine Höhe 82 cm, die Höhe des Tiegels 37 cm, sein Inhalt etwa 5000 ccm. Die Schüttvorrichtung α dient zum Nachfüllen des Frittenversatzes und schützt gleichzeitig vor zu großer Wärmeausstrahlung nach oben. Während die meist gebräuchlichen Schmelzöfen mit direkter Kohlenfeuerung eine einseitige, starke Überhitzung der Tiegel über den Schmelzpunkt der Fritten hinaus verlangen, bedarf es bei der gleichmäßigen Wärmezufuhr dieses Ofens eines geringeren Hitzegrades. Andererseits läßt sich durch Steigerung der Temperatur ein bedeutend schnelleres Ausfließen der Fritte erzielen. So lieferte dieser eine Tiegel in der gleichen Zeit die gleiche Menge geschmolzener Fritte, wie der mit drei Tiegeln derselben Größe besetzte Schmelzofen der Versuchsanstalt.

Der Ofen bedarf während des Schmelzens eines Energieaufwandes von etwa 14 Kilowatt. Da es sich beim Schmelzen derartiger Fritten um relativ niedrige Temperaturen handelt, dürfte hierbei die Kohlenfeuerung meist vorteilhafter sein; der ökonomische Wert der Heizung mit Elektrizität zeigt sich erst bei den hohen Temperaturen, wo die anderen Heizquellen entweder versagen oder durch allzu großen Aufwand an Brennmaterial zu teuer werden.“

„Muffel bis Segerkegel 20. Zweck war, einen Heizraum herzustellen, der das bequeme Einbauen einer größeren Anzahl von Proben gestattet und sich bequem beobachten ließ. Durch Einfügen von Zwischenwänden wurde der Raum abgegrenzt, in dem die Temperatur sich konstant zeigt, und so erhielten wir einen 23 cm tiefen, 22,5 cm hohen Heizraum in Muffelformat.

Den Unterschied in der Beschaffenheit der Ofenatmosphäre gegenüber den stehenden Öfen erkennt man auch hier aus folgenden Zahlen, die eine Gasanalyse ergab, als die Heizmuffel noch nicht durch Glasur abgedichtet war.

Temperatur	CO_2	O_2	CO
Segerkegel 12	11,1 %	1,1 %	14,1 %

Die Muffel beansprucht eine Amperezahl von etwa 200, kann ständig bis Segerkegel 15, aber auch ausnahmsweise höher erhitzt werden. Zur Abdichtung gegen das Kohlenoxyd eignet sich möglichst schwer schmelzbare Porzellan glasur.

Das Prinzip der Eisenelektroden im vergrößerten Heizmassenquerschnitt kam auch hier wie bei den beiden vorhergehenden Öfen

in Anwendung. Der Aufbau ist aus Fig. 39 ersichtlich. Bei den Stellen *a*, *b*, *c* sieht man Öffnungen zum Einfüllen der kleinstückigen

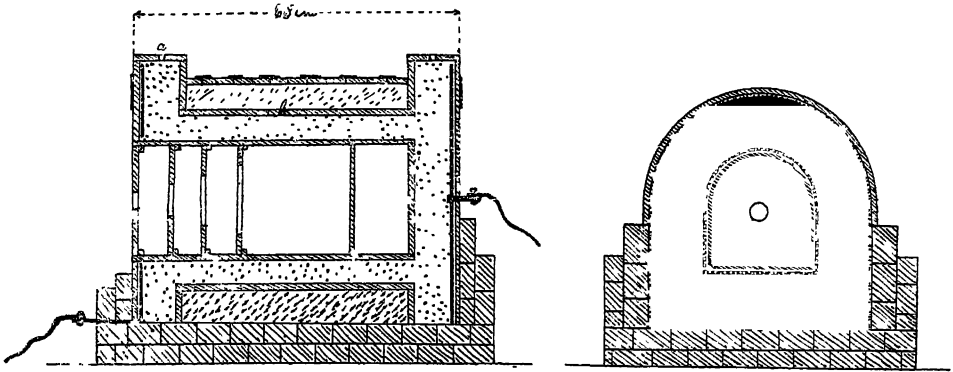


Fig 39. Kohlengrießmuffel.



Fig. 40. Kohlengrießofen im Laboratorium von Professor Mathesius

Kohle vor; der Ofen steht auf Schamotteunterbau und wird mit Eisenbändern zusammengehalten.

Die hintere Elektrode ist massiv, die vordere besitzt eine Öffnung, in der die Heizmuffel liegt. In Form verschiedener Platten mit wachsendem Querschnitt der zentralen Durchlochung ist auch hier das ganz allgemein empfehlenswerte Diaphragmenrohr verwandt worden.

Eine ähnliche Anlage richtete Professor Mathesius in seinem hüttenmännischen Laboratorium an der Königl. Technischen Hochschule in Charlottenburg ein, zur Ausführung von Untersuchungen über Metallschmelzen und Erstarrungserscheinungen. Nach Privat-

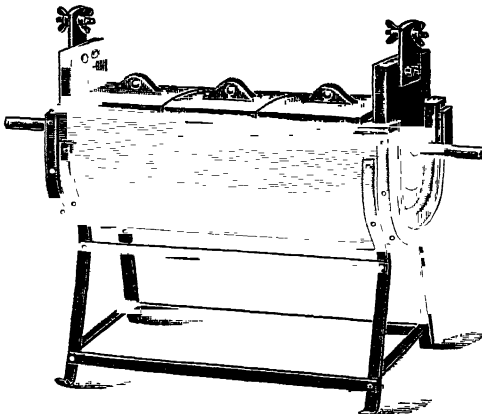
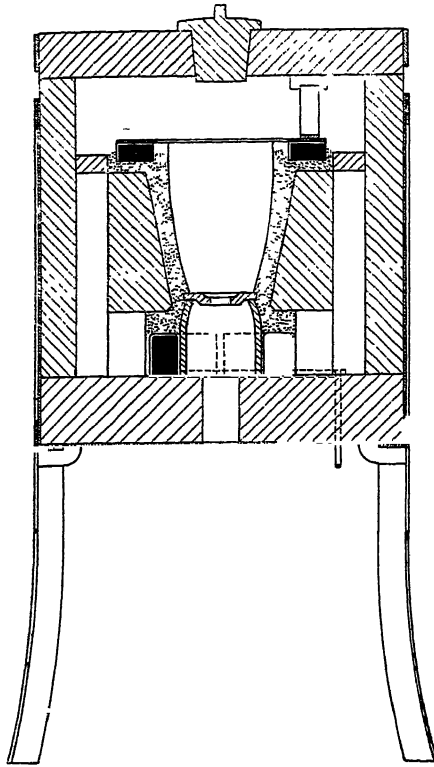


Fig 41. Kohlengrießofen im Laboratorium von Professor Borchers

mitteilungen von Professor Mathesius, dessen freundlichem Entgegenkommen der Verfasser auch die umstehende Gesamtansicht (Fig. 40) verdankt, verhält sich der Ofen wie folgt: Beim Einschalten an die Netzspannung von 220 Volt und 2 Ohm Vorschaltwiderstand läßt der Ofen 41 Amp. durch; der Ofenwiderstand beträgt mithin 3,36 Ohm. Bei 1200 °, einer Temperatur, die in langsamem Anstieg nach etwa 1 Stunde erreicht ist, gehen etwa 65 Amp. durch, wobei der Eigenwiderstand des Ofens auf 2,4 Ohm sinkt. Mit 95 Amp. erreicht man die Temperatur von 1450 °. Für noch höhere Hitzegrade reicht die Feuerfestigkeit der zurzeit dort vorhanden gewesen Röhren nicht aus.

Von den für Professor W. Borchers vom Verfasser konstruierten Öfen dieser Art sind ein Röhren- und ein Tiegelofen durch die Fig 41 veranschaulicht. Der Tiegelofen mit dem Heinecke-Tiegel gestattet, die Schmelze auslaufen zu lassen, ohne daß der Tiegel herausgenommen zu werden braucht.

Trifft man keine beson-

deren Vorsichtsmaßregeln, so entsteht im Tiegel- oder Röhrenraume bei Heizung mittels der feinkörnigen Kohle, wie bereits erwähnt, eine kohlenoxydhaltige und daher reduzierende Atmosphäre. Durch Durchblasen von Luft oder anderen neutralen Gasen läßt sich, wo es darauf ankommt, dies vermeiden. Eine geeignete Vorrichtung hierfür beschrieb Hirsch¹⁾ (von dem „Tonindustrie-Laboratorium“). In dem Ofen nach Fig. 42 dringt auch bei anschließendem Teller *H* die Luft von unten ein und oxydiert das Kohlenoxyd, das sich in dem Raume *C* durch Verbrennung der Kohle bildet und durch die poröse Schamottewand in den Heizraum durchsickert. Wie aus der Abbildung ersichtlich, findet in diesem Ofen die Hitzeentfaltung hauptsächlich in dem längeren, 20 mm breiten Mittelraume *C* statt, während in den Elektrodenräumen *A* und *B* die gekörnte Kohle nebst den Stromzuführungen *S* aus Eisenblech nur schwach erwärmt werden. Außerdem ist das schwierige Einführen der Zange von oben umgangen. Die Tiegel werden nach

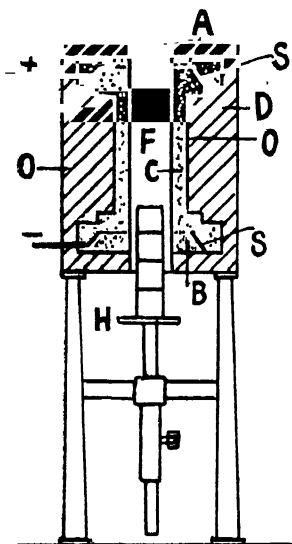


Fig. 42

Kohlengrießöfen im „Tonindustrie-Laboratorium“

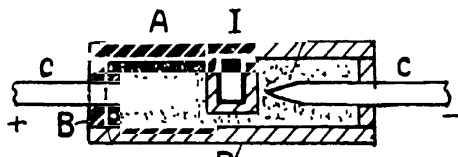


Fig. 43

unten unter Anwendung einer Führung hinabgelassen. Man braucht vielfach unter diesen Umständen gar keinen Tiegel, sondern nur eine feuerfeste Unterlage, indem die Röhre *F* aus hochfeuerfester Schamottemasse die Tiegelwände ersetzt. Die in diesem Ofen erreichte Temperatur genügte, um die relative Flüchtigkeit der schwer schmelzenden Oxyde in oxydierender Atmosphäre zu bestimmen.

Wo es auf den letzten Faktor nicht ankommt, lassen sich auch mit dem einfachen Ofen nach Fig. 43 sehr hohe Hitzegrade erreichen. Der Ofen kann, wenn er mit Kohlengrieß gefüllt ist, als Widerstandsofen und ohne solche Füllung als Lichtbogen betrieben werden.

1) Stahl und Eisen 1908, S. 413.

Lichtbogenofen.

Zur Durchführung von Feuerfestigkeitsuntersuchungen oberhalb des Segerkegels 37 griff M. Simonis¹⁾ zu reiner Lichtbogenheizung, und es gelang, mittels des in der Fig. 44 veranschaulichten Ofens einen Tiegel aus Kohle von etwa 35 mm Höhe und 45 mm lichter Weite genügend gleichmäßig und fast beliebig hoch zu erhitzen. Der Ofen hat runden Querschnitt, einen Deckel *A* und einen bequem von unten ein- und ausführbaren Stöpsel *c*, der auf einem umgekehrten Tiegel *d* aus künstlicher Kohle den ebenfalls aus Kohle bestehenden Tiegel *e* zur Aufnahme der Schmelzkegel trägt. *a*, *b*, *c* bestehen aus *F*-Schamotte der Versuchsanstalt, *g* und *h* aus Frankensteiner Magnesit. Die Kohlenstäbe waren gewöhnlich 20 mm stark, in Rillen mit Hilfe der Schlitten *ii* verschiebbar und von außen mit Streusel abdichten.

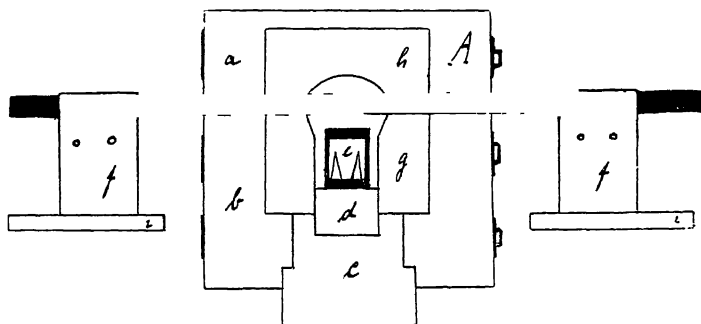


Fig. 44 Lichtbogenofen von Simonis

Guten Kontakt erzielte man durch festes Anziehen der Kupferklemmen *ff* bei Zwischenlagerung von Drahtnetz zwischen Kohle und Kupfer. Die äußeren Schamottesteine des Ofens werden durch Eisenbänder zusammengehalten. Die Magnesitausfütterung formt man unter Zuhilfenahme von organischem Bindemittel und brennt sie bei Segerkegel 10. Diese Ausfütterung ist auswechselbar und mit Sorelzement einzukitten. Sie hält übrigens sehr viele Brände aus. Der Ofen ist zwecks bequemer Handhabung des Stöpsels *c* auf einem hohlen Unterbau aufgestellt. Der Deckel wird nur beim Ersetzen durch einen neuen abgenommen, was erst nach 50 und mehr Bränden geschieht. Über die richtige Stellung der Kohlenstäbe orientiert man sich vermittelt eines unter die Stöpselöffnung gehaltenen Spiegels zu Beginn jedes neuen Brandes, und sie werden im Maß ihrer Verbrennung nachgeschoben. Für Bestimmungen bis zu Seger-

1) Mitteilungen aus der Chemisch-Technischen Versuchsanstalt bei der Königl. Porzellanmanufaktur; Sprechsaal 1906, Bd. 39, S. 1283.

kegel 38 genügen etwa 100 Amp. bei etwa 30 Volt während $\frac{1}{2}$ Stunde. Allerdings kann man auch mit 200 Amp. bei 70 Volt in 10 Minuten den Schmelzpunkt erreichen. Wenn man die nötige Temperatur erreicht zu haben glaubt, schaltet man aus, nimmt den Tiegel heraus und führt eventuell immer wieder auf einige Minuten ein, bis der Lichtbogen die gewünschte Wirkung hervorgebracht hat. Das Herausnehmen, Nachsehen und Wiedereinführen erfordert etwa $\frac{1}{2}$ Minute; der Bogen ist im heißen Ofen leicht wieder zu entzünden. Die zu prüfenden Materialien stellt man nötigenfalls in mit

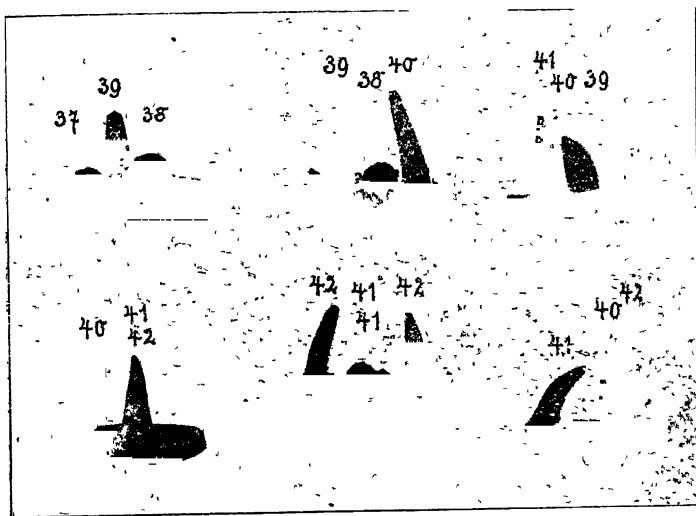


Fig. 45 Segerkegel aus dem Lichtbogenofen von Simonis.

Ausschnitten versehenen Blättchen aus künstlichem Graphit her (Acheson), während zum Aufstellen von Segerkegeln bis Nr. 42 Tonerde vorzuziehen sei. Dank der guten Wärmeleitfähigkeit der Kohle und der Einwirkung der reflektierten Strahlen auch auf die Seitenwände des Tiegels erzielt man eine vollkommen gleichmäßige Temperatur im Tiegelinneren und ein normales Niedergehen der Segerkegel, wie die beigegeführten Aufnahmen (vergl. Fig. 45) veranschaulichen. Immerhin blieb diese Arbeitsweise infolge der Unmöglichkeit, den Schmelz- oder Brennprozeß ununterbrochen zu beobachten, nur ein Notbehelf. Inzwischen gelang es, Röhren aus geschmolzener Magnesia, aus gereinigter Zirkonerde (Rieke) und aus Magnesiatonerde (Heinecke) fertigzustellen, welche ermöglichen, mittels der Kohlengrießheizung Temperaturen, bis zum Segerkegel 42 regulierbar und der Beobachtung zugänglich zu

erzeugen. Über diesen neuen Ofentypus teilt M. Simonis¹⁾ folgendes mit:

Strom-
konzentration
Schutz gegen
elektrolytische
Wirkungen.

„...Um den Bereich dieser Öfen (Röhren mit Kohlengrieß umgeben) über Segerkegel 39 hinauszuschieben, wurde schließlich zur Herstellung des Heizrohres aus geschmolzener Magnesia geschritten.

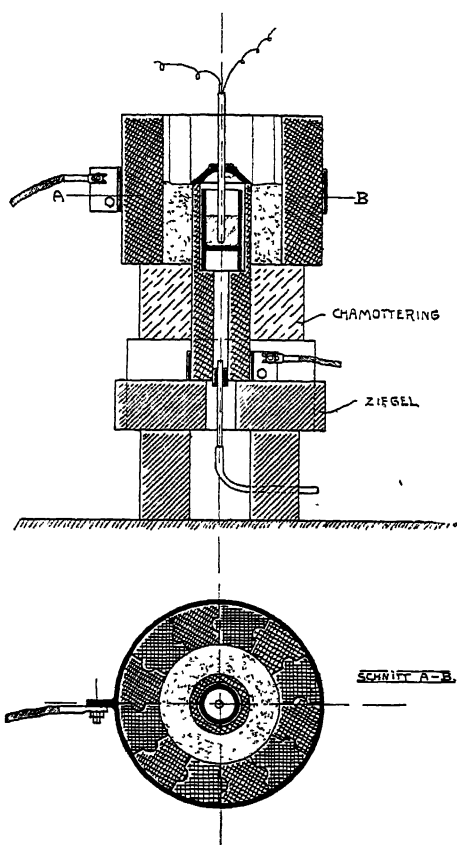


Fig. 46. Ofen von Borchers (von Stromwirkungen geschützter Tiegel)

Es gelang auf diese Weise, den Rohrofen bis zum Niederschmelzen von Segerkegel 42 zu erhitzen, jedoch leidet die Beobachtung dabei durch die Erfüllung des Rohres mit undurchsichtigen Dämpfen und durch die starke Flüchtigkeit der Magnesia, die bei diesen Temperaturen in dichten Nebeln entweicht.

Als weiteres, schwerst schmelzbares Material kam Zirkonerde zur Verwendung. Die geschilderten Übelstände werden dadurch vermieden, und man erhält ein nahezu dichtes Rohr, was gegenüber den porösen Magnesia-rohren einen Fortschritt bedeutet. Dafür jedoch tritt als Nachteil die hohe Leitfähigkeit des Zirkons für den elektrischen Strom in den Vordergrund, die schon nach einem oder zwei Bränden auf Seger-

kegel 41 bis 42, der Unmöglichkeit wegen, ein Rohr mit genau gleicher Leitfähigkeit im ganzen Querschnitt herzustellen, zum Durchschmelzen an einer Seite führt.“

Um nun die erwähnten Vorteile der Zirkonmasse auszunützen, ohne die Heizwandung der Elektrolyse und dem daraus folgenden Durchschmelzen auszusetzen, wurde eine von Borchers²⁾ angegebene

1) Mitteilungen aus der Chemisch-Technischen Versuchsanstalt der Königl. Porzellanmanufaktur Berlin; Sprechsaal 1908, S. 210.

2) Borchers, Die elektrischen Öfen, 2. Aufl., S. 71.

Konstruktion mit einigen zu beschreibenden Änderungen angewandt. Das Prinzip dieses Ofens (vergl. Fig. 46) ist, den Strom von einer hohlen, im Querschnitt als Ring erscheinenden Elektrode durch die Kohlenwiderstandsmasse nach der im Zentrum befindlichen, aus einem im oberen Ende angebohrten Kohlenstab bestehenden Elektrode zu schicken, in deren Ausbohrung der zu erhitzende Gegenstand bzw. das zu seiner Aufnahme geeignete Gefäß sich befindet. Es konzentrieren sich dabei die Stromlinien im Verhältnis der Radien der Innenfläche der großen Ringelektrode und der Außenfläche der Zentralelektrode. Borchers hat diesen Ofen angegeben für Temperaturen, die die Verwendung eines Gefäß- bzw. Tiegelmateri- als aus Porzellan oder Ton nicht mehr zuließen. Sowie man ein Material wie Zirkonerde mit den erwähnten Feuerfestigkeits- und Dichtigkeitseigenschaften zur Verfü- gung hatte, war es leicht, durch Einsetzen eines derartigen Tiegels in die ausgebohrte Zentralelektrode bei den gewünschten Hitzegraden im beobachtbaren Raum zu arbeiten, ohne auf Kohle als einziges Material angewiesen zu sein, sowie die Elektrode vor dem Verbrennen zu schützen, ohne etwa einen ständigen Stickstoffstrom durch den Ofen schicken zu müssen. Der Übelstand der Elektrolyse aber konnte bei dieser Anordnung sich überhaupt nicht zeigen, da alle Teile des Tiegels sich auf dem gleichen Potential befinden.

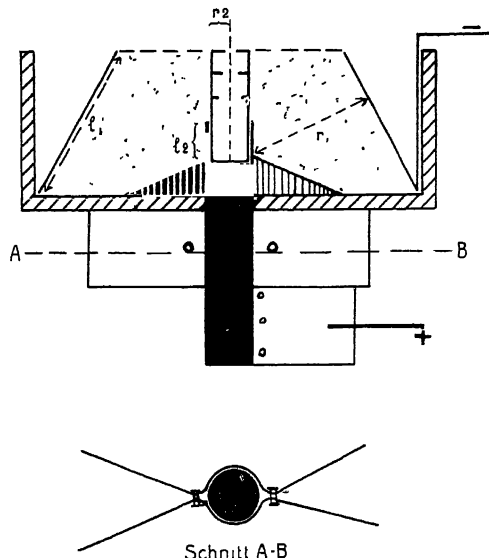


Fig 47. Kohlengieß-Zirkonofen nach Simonis.

„Der Ofen ist in Fig. 47 dargestellt. Auf einem Unterbau von Steinen ruht eine Kapsel aus gewöhnlicher Schamotte von einem äußeren Durchmesser von 420 mm, die mit einem aufgesetzten Ring zusammen eine Höhe von 160 mm besitzt. Ihr Boden ist durchlocht zur Einführung der Zentralelektrode, die aus einem massiven Kohlen- bzw. Graphitzylinder besteht und am oberen Ende bis zu einer Wandstärke von 3 bis 5 mm und einer Tiefe von etwa 70 mm ausgedreht ist. Der Durchmesser dieses Stabes betrug 33 bzw 45 bzw.

„Der Ofen ist in Fig. 47 dargestellt. Auf einem Unterbau von Steinen ruht eine Kapsel aus gewöhnlicher Schamotte von einem äußeren Durchmesser von 420 mm, die mit einem aufgesetzten Ring zusammen eine Höhe von 160 mm besitzt. Ihr Boden ist durchlocht zur Einführung der Zentralelektrode, die aus einem massiven Kohlen- bzw. Graphitzylinder besteht und am oberen Ende bis zu einer Wandstärke von 3 bis 5 mm und einer Tiefe von etwa 70 mm ausgedreht ist. Der Durchmesser dieses Stabes betrug 33 bzw 45 bzw.

55 mm und kann, wenn man über die nötigen Ampere verfügt, noch bedeutend vergrößert werden. Die Stromzuführung erfolgt durch einen Kupferblechstreifen. Über diesem, direkt unter dem Kapselboden, sind zwei Kupferblechstreifen befestigt (siehe Schnitt *AB*), die zur Kühlung des Kohlenstabes dienen und ihn besser als umgelegte Asbesthüllen oder Schamotte vor Verbrennung schützen. Um die Stromlinien und die Wärmewirkung in noch höherem Maße als bei dem Borchersschen Ofen nach der Zentralelektrode hin zu konzentrieren und gleichzeitig eine Schmelzung der Schamottekapsel zu verhüten, wurde ein durchbohrter Kegelstumpf aus geschmolzener Tonerde bezw. geschmolzener Magnesia auf den Kapselboden aufgesetzt. Hierdurch erfolgt zunächst die Konzentration des Stromes außer im Verhältnis $\frac{r_1}{r_2}$ noch nach $\frac{l_1}{l_2}$, zweitens ist deshalb als äußere

Elektrode ohne die geringste Abnutzung eine einfache Stromzuführung aus Eisenblech anwendbar, und drittens ist der eigentliche Heizraum des Ofens nur von Kohle und Magnesia bezw. Tonerde, also schwer schmelzbarem bezw. unschmelzbarem Material umgeben. Die äußere Elektrode ist trichterförmig, um zu verhüten, daß der obere Teil des Heizraumes durch die stärkere Ausstrahlung zu sehr abkühlt, indem durch diese Anordnung die Stromlinien mehr zum oberen Ende des ausgehöhlten Kohlestabes hingezogen werden. In diese Ausbohrung kommt nun der Tiegel, dessen Wandung die Zentralelektrode überragt, so daß sie ganz mit Kohlengrieß überschichtet und vor Verbrennung geschützt werden kann. Auf den Tiegel kommt noch ein Rohr mit mehreren Blenden, das die Ausstrahlung nach oben vermindert und so hoch ist, wie der obere Rand der Ringelektrode. Dadurch kann man das ganze Beobachtungsrohr bis zum oberen Ende mit Kohlengrieß umschichten; da der Strom nur vom Kohlenstab ausgeht, beteiligen sich die höheren Kohlenschichten nicht nennenswert an seiner Leitung und bleiben während des Brandes kalt, so daß an keiner Stelle des Ofens glühende Kohle und Luft zusammenkommen.

Bei etwa 30 Volt läßt der Ofen bei einem Durchmesser der Zentralelektroden von 33 bezw. 45 mm im kalten Zustand 50 bis 100 Amp. durch. Die Stromstärke steigt dann bei gleicher Spannung in 20 Minuten auf das Doppelte, und nach einer Gesamtbrenndauer von 25 bezw. 45 Minuten, vom kalten Zustande an gerechnet, erreicht man Segerkegel 42 (etwa 2000 °). Bis zu dieser Temperatur bewährte sich als Tiegelmateriel eine natürlich vorkommende Zirkonerde von 90 %, die durch Reinigung auf etwa 94 % gebracht wurde. Die

Verunreinigungen bestehen etwa zur Hälfte aus Eisenoxyd und Tonerde, zum anderen Teil aus Kieselsäure. Die Tiegel wurden aus einem Gemisch des feingemahlten Rohstoffes mit vorgebranntem, gekörntem Material hergestellt. Auf Segerkegel 30 vorgebrannt, schwinden sie bei der nachherigen Verwendung bei Segerkegel 42 nur noch wenig, besitzen eine bräunlichgelbe Farbe und nahezu dichten Scherben. Bei öfterem Brennen auf Segerkegel 42 reinigen sie sich dann von selbst durch die stärkere Flüchtigkeit ihrer Verunreinigungen.

Gegenüber dem Lichtbogenofen besitzt der beschriebene Widerstandsofen für pyrometrische Bestimmungen bis Segerkegel 42 den Vorteil, die Beobachtung und Temperaturmessung mit dem optischen

Pyrometer zu ermöglichen, sowie eine größere Bequemlichkeit der Handhabung und eine sichere Einstellung des Temperaturanstieges zu gestatten.

Kommt es nicht auf die Erreichung dieser extremen Temperaturen, sondern auf klaren Brand bei Temperaturen bis etwa 1700° an, und will man

in kieselsäurefreien Gefäßen arbeiten, so verwendet man an Stelle der Zirkontiegel zweckmäßig solche aus der reinen, dichten Magnesiatonerde von Heinecke und leitet gegebenenfalls, der größeren Sicherheit wegen, einen Stickstoffstrom durch den Ofen, den man durch eine Platinkapillare von oben oder, der Borchersschen Anordnung folgend, durch eine zentrale Durchbohrung der Innenelektrode eintreten läßt. Bei dieser Anordnung kann man bequem Platintiegel auf höhere als die in den Heraeusschen Öfen erreichbaren Temperaturen erhitzen.“

Den gleichen Zweck — die höchste Hitze möglichst in der unmittelbaren Nähe der Heizgefäße zu konzentrieren — ist auch die Firma L. Bolle & Co. zu erreichen bestrebt. In ihrem Engl. Pat. 5751 (1907) wird eine Reihe von Ausführungen beschrieben, bei denen genau in der Mitte zwischen den Elektroden das Schmelzgefäß (Tiegel oder Rohr), sei es stehend (Fig. 48) oder wagerecht (Fig. 49 u. 50) angeordnet und mit Kohlengrieß umgeben ist. Durch

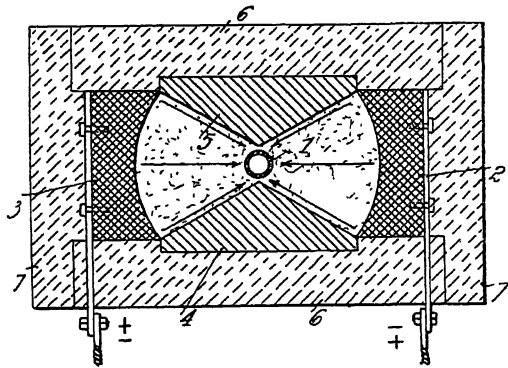


Fig. 48 Stehender Röhrenofen von Bolle & Co.

die Hindernisse oder „Brücken“, wie es in der Patentschrift heißt, 4, 11, 16, die aus Magnesit, Karborund und dergl. bestehen, wird der Stromdurchgang in der Nähe der Schmelzgefäße stark verengt, wodurch eine hohe Hitzesteigerung erzielt wird.

Kohlenrohröfen.

Vielfach werden Heizvorrichtungen für Versuchszwecke noch in der Weise konstruiert, daß möglichst dünnwandige Röhren aus

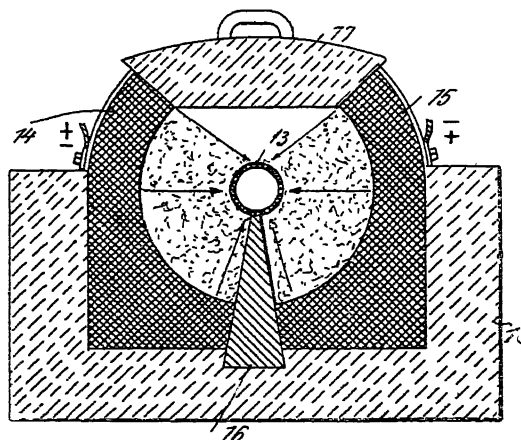


Fig. 49

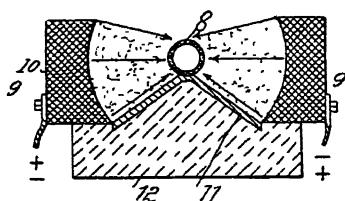


Fig. 50

Liegende Röhrenöfen von Bolle & Co

elektrischer Kohle oder künstlichem Graphit an ihren Enden an Stromzuleitungen angeschlossen werden. Da diese Röhren verhältnismäßig gut leitend sind, so bieten sie dem Stromdurchgange sehr geringen Widerstand. Infolgedessen ist man auf Anwendung ganz niedriger Spannungen und sehr hoher Stromstärken angewiesen. Der Schutz dieser Röhren gegen Verbrennung kann auch nur ein relativer sein. Die von Potter¹⁾, Hutton und Patterson²⁾, M. v. Piranni³⁾ u. a. in zahlreichen Aus-

führungen beschriebenen Öfen unterscheiden sich nur wenig voneinander. Der von von Piranni benutzte Ofen hat verhältnismäßig geringe Dimensionen, das Kohlenrohr ist nur von 10 mm lichter Weite und hat 1 mm Wandstärke. Die Stromzuführung geschieht durch federnde Zangen mit Kupferbacken, in die das an seinen Enden mit dünnem Aluminiumdraht umwickelte Kohlenrohr mit Hilfe eines geeigneten Kupferzwischenstückes eingeklemmt wird. Zur Verhütung des zu schnellen Abbrennens des Heizrohres wird dasselbe mit Sand, gekörnter Kohle oder einer Mischung von beiden über-

1) Electrochem. and metallurgical Industry 1906, S. 191.

2) Ebendas. 1905, S. 455; Zeitschr. f. chem. Apparatenkunde, Bd. 1, S. 380.

3) Der Mechaniker 1908, Nr. 9; Sprechsaal 1908, S. 332.

schüttet. Unter Sand erfordert ein solcher Ofen bei 1700° einen Strom von etwa 60 Amp. und eine Spannung von etwa 1 Volt pro 1 cm Rohrlänge.

S. A. Tucker¹⁾ benutzt ein Kohlenrohr *A* (Fig. 51) von 25 mm lichter Weite und 38 mm äußerem Durchmesser; der mittlere Teil des Rohres auf einer Länge von 94 mm ist auf 31 mm verjüngt. Die beiden Enden sind mit wassergekühlten Kupferbüchsen *C* versehen, die auch die Stromanschlüsse vermitteln. Das Rohr *A* ist mit möglichst aschefreiem Kohlegrieß *B* (Elektrodenabfälle) umgeben. In diesem Ofen erzielte Tucker mit Wechselstrom von 6 bis 8 Volt und 330 Amp. nach 4 Minuten die Temperatur von 1200° ; mit 11 Volt und 600 Amp. in 11 Minuten 1860° und bei 15 Volt und 850 Amp. in 14 Minuten 2950° . Als den wichtigsten Vorzug dieser Heizvorrichtung stellt Tucker die Abwesenheit von Nebeln und Dämpfen, die sonst den Glühraum vor Beobachtungen verhüllen

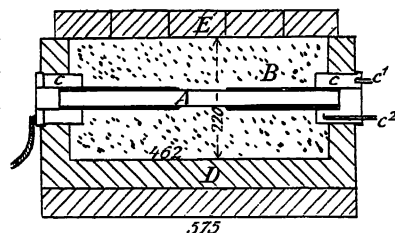


Fig 51 Kohlenrohröfen von Tucker

Um mit höheren Spannungen arbeiten zu können, umgab Féry-Langlet²⁾ (vergl. außerdem das Verfahren von Ruhstrat) ein Magnesiumrohr mit einem zu einer Spirale ausgeschnittenen Graphitrohr und erhielt nach dem Einschalten der Graphitspirale in den Stromkreis im Magnesiumrohre eine Temperatur von etwa 2000° C. Nernst und Glaser (Amer. Patent 684296) schlugen vor, Rohre und dergl. aus einem Gemisch von Metalloxyden herzustellen, das, ähnlich wie die Glühstifte der Nernstlampen (D. R. P. 104872), erst in der Hitze elektrisch leitend werden. Solche Nernstrohre, zwischen den Stromzuführungen eingespannt und durch irgendeine Hilfsvorrichtung vorgewärmt, bilden dann den Heizwiderstand und gleichzeitig damit auch den Glühraum. Da sie von hohem spezifischen Widerstand sind, so kann man sie leicht auch für die relativ hoch gespannten Ströme der Straßennetze anpassen. Das Entstehen einer reduzierenden Atmosphäre wird in solchen Öfen gänzlich vermieden, dagegen leiden die Rohre unter der elektrolytischen Wirkung des Stromes. Einen solchen Ofen lernte J. A. Harker³⁾ im Labora-

1) Ebendas. 1907, S. 227.

2) Ebendas. 1907, S. 292; ausführlicher in La Revue électrique vom 30. Mai 1907.

3) Chemical News 1905, Bd. 91, S. 250, 262 u. 287.

torium von Solomon (British Nernst Light Co.) kennen. Der Ofen enthielt ein Rohr von 9 mm lichter Weite und 100 mm Länge, das sich in einem Kupferblechmantel befand, der Zwischenraum war mit Zirkonoxyd ausgefüllt. Im kalten Zustande betrug der Widerstand des Apparates ungefähr 1000 Megohm. Der Apparat wurde mittels eines Gasbrenners auf 400° vorgewärmt und dann in einen Stromkreis von 250 Volt eingeschaltet, woraufhin die Gasflamme ausgedreht wurde. In höchster Glut verbrauchte der

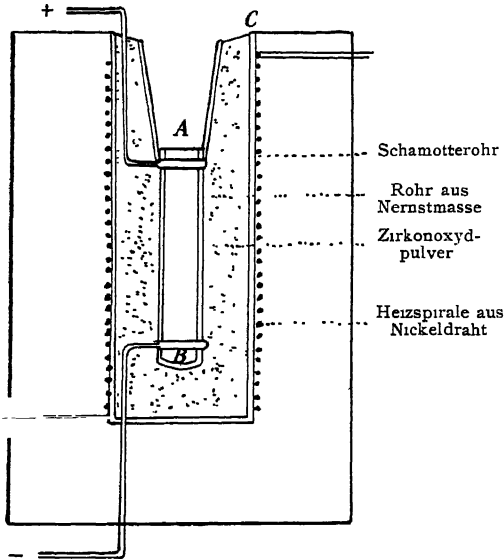


Fig 52 Zirkonoxydofen von Nernst-Harker.

Apparat 5 bis 6 Amp bei 100 Volt. Der nach demselben Prinzip von Harker konstruierte Ofen (Fig. 52) besteht aus einem Rohr *AB* aus der Masse für Nernstglühstifte von 10 mm lichter Weite und 60 bis 70 mm Länge. Zwischen dem Heizrohr und dem äußeren Porzellan- oder Schamotterrohr *CD* von 30 bis 40 mm befindet sich so gut wie ganz reines Zirkonoxypulver, welches erst bei sehr hoher Temperatur leitend wird. Das äußere Rohr

ist mit einer Heizspirale aus Nickeldraht umgeben; je nach der Art der Drahtisolierung sind 100 bis 300 Watt nötig, um den Apparat so weit vorzuwärmen, daß das Nernstrohr leitend wird. Nun werden die Platinstromzuführungen des Nernstrohres ebenfalls an eine Leitung von 200 bis 500 Volt Spannung angelegt. Nachdem in dem Zirkonoxydmantel eine etwa 150 Watt entsprechende Wärmemenge aufgespeichert ist, genügt ein Strom von 2 Amp. und von 60 bis 100 Volt, um im mittleren Teile des Nernstrohres eine Temperatur von etwa 2000° zu erzeugen. Bei Apparaten von der hier beschriebenen Größenordnung läßt sich verhältnismäßig leicht vermeiden, daß die Platinstromzuführungen abschmelzen, da an den Rohrenden die Hitze nicht so stark ist. Bei größeren Ausführungen muß für die Wärmeableitung an den Stromzuführungen besonders gesorgt werden

Der Schmelzpunkt des Platindrahtes konnte auf dreierlei Arten wahrgenommen werden: 1. durch das Durchschmelzen eines Drahtes, 2. durch die Bildung von Kügelchen am Ende des Drahtes und 3. durch Abtropfen des Platins auf das darunter sich befindende Thermoelement, wodurch im Meßinstrument ein kleiner Ausschlag verursacht wurde. Wie bereits erwähnt (S. 32), fand Harker als Durchschnittswert von einer großen Reihe von Schmelzpunktbestimmungen, die mit verschiedenen Thermoelementen und sowohl in vertikalen wie in horizontalen Öfen ausgeführt wurden, für Platin $1710 \pm 5^{\circ}$ (dieser Wert fand bis jetzt wenig Anerkennung) und den Erstarrungspunkt von Nickel, ausgeführt in demselben Ofen und nach demselben System gemessen, bei $1427 \pm 3^{\circ}$.

Zum Schluß macht Harker darauf aufmerksam, daß der Ofen zur Ausführung von physikalischen wie chemischen Untersuchungen verschiedenster Art sich gut eignet und daß der Ofen leicht auch unter Vakuum gebracht werden kann. Über die Art und Weise der Anfertigung der Nernströhren werden nähere Angaben nicht gemacht.

Auf die Konstruktionen von R. S. Hutton¹⁾ und Petavel für elektrische Erhitzung unter hohem Druck kann hier infolge des nur beschränkten Interesses, die sie vorläufig beanspruchen, nicht näher eingegangen werden (vergl. außerdem Days einschlägige Versuche, Quarz zu schmelzen). Auch die Vorgänge, die sich an der Anode der Geißlerschen Rohren abspielen, wurden zur Erzeugung sehr hoher Temperaturen (Schmelzpunktsbestimmung von Wolfram [gegen 3000°] nach von Wartenberg²⁾) verwendet, was jedoch hier ebenfalls nicht weiter erörtert werden kann.

Steht man vor der Entscheidung, welchem der hier beschriebenen Systeme der Vorzug zu geben sei, so hat man sich vor allem Klarheit über die Art der auszuführenden Arbeiten zu verschaffen. Wo keine übermäßig hohen Temperaturen verlangt werden, z. B. in analytischen Laboratorien, dürften Heizvorrichtungen mit Platinspiralen die geeignetsten sein. Bei Temperaturen bis 1200° ist der Verschleiß dieser Apparate gering, und sie sind bei sorgfältiger und geschützter Aufstellung dauerhaft und im Stromverbrauch billig. Handelt es sich um Erzeugung sehr hoher Temperaturen und streng genauer Einhaltung des einmal erreichten Hitzegrades, also gewissermaßen Thermostaten, so dürfte in den meisten Fällen

Schluß-
betrachtungen.

1) Electrochem. and metallurgical Industry 1908, S. 97, und außerdem die Sonderschrift der beiden Verfasser: Electric furnace reactions under high gaseous pressures, bei Dulau & Co., London

2) Ber. d. Deutsch. chem. Ges. 1907, S. 3287.

ein Iridiumofen zu empfehlen sein. Für die meisten technischen und keramischen Versuche und Untersuchungen, bei denen Temperaturen über 1300° benötigt werden, erscheint dem Verfasser die Heizung mittels kleinstückiger Kohle die weitaus geeignetste zu sein. Wohl haften diesem Ofensystem schwere Nachteile an; an erster Stelle ist es die fortwährende Veranderlichkeit des inneren Widerstandes dieser Öfen, auch läßt die Sauberkeit des Betriebes zu wünschen übrig. Der Stromverbrauch der Kohlegrießöfen ist erheblich, was mit dem großen Umfange derselben zusammenhängt. Demgegenüber steht die hohe Anpassungsfähigkeit dieser Öfen. Die Heizart ist außerordentlich einfach und die Heizvorrichtungen lassen sich bis in Unendlichkeit variieren, je nach dem vorliegenden Zweck und der Form des zu erhitzenden Gegenstandes. Außer dem Heizrohr, dem Tiegel oder der Muffel kann hier nichts defekt werden, und diese können von jedermann ausgewechselt werden. Man ist daher völlig unabhängig von den mechanischen Werkstätten. Wohl beansprucht diese Heizart einige praktische Übung. Dieser Umstand ist auch der Grund, warum der Verfasser für nötig fand, so ausführlich die Einzelheiten der Arbeitsweise und der dabei vorkommenden Erscheinungen zu schildern. Genau so wie beim Arbeiten mit Gasöfen die Hähne jedesmal von neuem eingestellt werden müssen, so müssen auch die Kohlegrießöfen bei jedem neuen Brand einreguliert und in kurzen Zwischenräumen (etwa alle 10 bis 15 Minuten) nachgesehen werden. Vor allem kommt es hierbei auf die richtige und gleichmäßige Schichtung der Widerstandsmasse an. Sobald man dies im Gefühle hat, ist man Herr dieser Heizweise und man hat die Möglichkeit, alle Temperaturen zu erreichen, die unsere feuerfesten Materialien nur ertragen können. Selbst einfache Arbeiter lernen unter sachkundiger Anweisung gewöhnlich in einigen Wochen die Öfen völlig zu meistern; denn man hat hier nicht mehr mit empfindlichen physikalischen Apparaten zu tun, sondern mit dem primitivsten Heizmittel, welches es gibt — mit der Kohle.

. A f b r i t d r h m t r i l i d r vo To w r i k t r i c h Ö f .

Wie für Untersuchungs- und Prüfungszwecke, fehlte es nicht an Vorschlägen, auch zur Aufbereitung der für die Tonindustrie benötigten Rohmaterialien und zum Fertigmachen von keramischen Erzeugnissen elektrische Öfen einzuführen. Es ist nicht ausgeschlossen, daß einige Ausführungsformen solcher Öfen, die zum Gutbrennen bestimmt sind, mit der Zeit, namentlich in Kreisen der Künstler, Amateure und Kunstgewerbetreibenden Eingang finden werden. Hier wurden die Vorzüge der elektrischen Öfen, wie Sauberkeit, geringe Platzbeanspruchung, bequeme Regulierung, voll zur Ausnutzung gelangen. Der Betrieb solcher Öfen stellt sich selbst bei städtischen Strompreisen nicht unerschwinglich hoch, um so mehr, als die Elektrizitätswerke bei der Vereinbarung, die Heizapparate nur am Tage zu gebrauchen, die elektrische Energie meistens zu $\frac{1}{2}$ bis $\frac{1}{3}$ des für Licht festgesetzten Preises abgeben. Außerdem kommt noch ein für die in Betracht kommenden Kreise oft geradezu ausschlaggebender Umstand hinzu — die völlige Unabhängigkeit von der Fabrik, in der man sonst brennen ließ, und wo gar oft das Gelingen von dem guten Willen des beim Brennen beteiligten Personales abhing.

In bezug auf die Aufbereitung der Rohmaterialien mittels elektrischer Öfen und Verfahren liegt wenig Wahrscheinlichkeit vor, daß man für solche Arbeiten eine so teure Wärmequelle wie Elektrizität wählen wird, um so mehr, als auch die Zuverlässigkeit der meisten hierzu vorgeschlagenen Apparate mehr als fraglich ist. Ihre Aufzählung hier geschieht daher hauptsächlich in Hinsicht auf das patentrechtliche Interesse, das sie haben können.

Die Fig. 53 veranschaulicht einen Röst-, Kalzinier- und Trockenofen von Crompton und Dowsing (Engl. Pat. 259 von 1893). Durch eine Schnecke wird das zu kalzinierende Gut zur Öffnung *H* befördert, von wo aus es auf die erste Heizplatte *I* des eigentlichen Ofens fällt. Die geeigneten Heizplatten bestehen aus kräftigen, mit

Isolierschicht bedeckten metallischen Körpern; in der Isolierschicht sind elektrische Heizwiderstände (Engl. Pat. 17091 von 1892) eingebettet, die durch den Strom genügend stark erhitzt werden, um die ganze Platte *I* ins Glühen zu bringen. Das fertige Kalziniergut

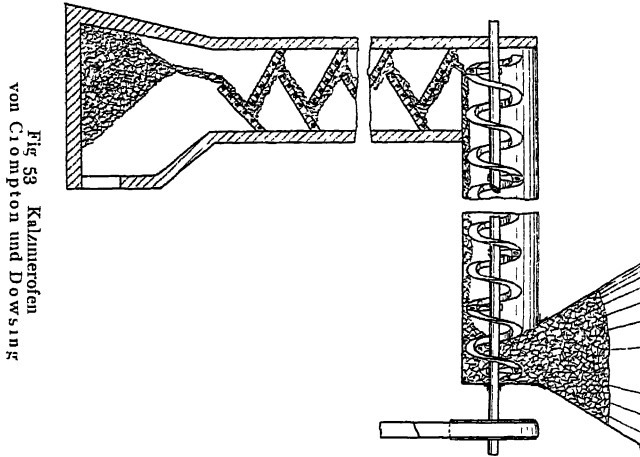


Fig. 53. Kalzinerofen
von Clompton und Dowsing

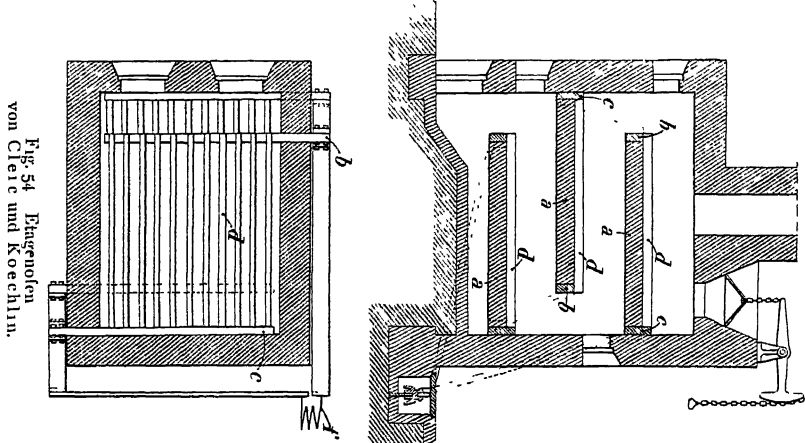


Fig. 54. Etagenofen
von Cleie und Koechlin.

fällt in den Sammelraum *K*, aus dem es durch die Tür *L* ausgezogen wird.

Eine Reihe von Öfenausführungen zum Brennen von Kalkstein, Zement und Gips rühren von F. Clerc und M. Koechlin (Franz. Pat. 320256) her. Fig. 54 stellt einen Etagenofen vor. Jede der Etagensohlen *a* trägt zwei Stromzuführungen *c* aus Kupferbarren und eine Reihe von Stäben *d* aus Gußeisen als Heizwiderstände. Die Erfinder sind der Meinung, daß zum Brennen von Kalkstein die

Temperatur von 600°C . die günstigste sei. Diese Ansicht dürfte jedoch irrig sein. Zahlreiche Messungen seitens verschiedener anderer Autoren wie auch seitens des Verfassers ergaben stets, daß wenigstens beim Schachtofenbetrieb der Kalkstein in der heißesten Zone beim richtigen Ofengang die Temperatur von 1000 bis 1100° aufweist. Aus diesem Grunde dürfte das Brennen mittels Heizwiderstände aus Gußeisen, wo auch noch die Strom-

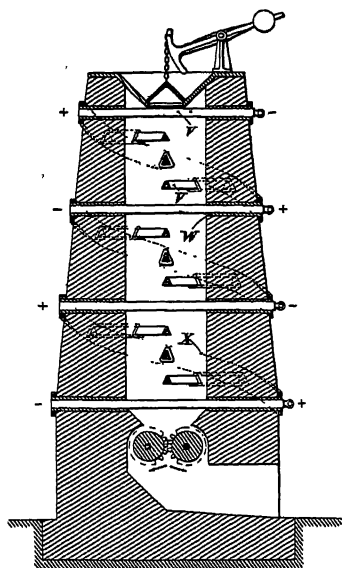


Fig 55 Schachtofen von Clerc und Koechlin.

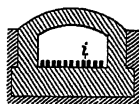
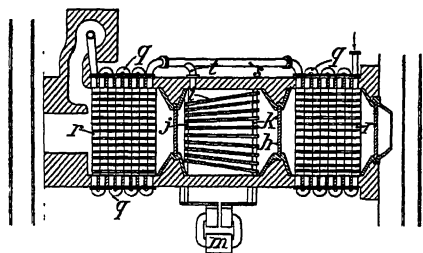
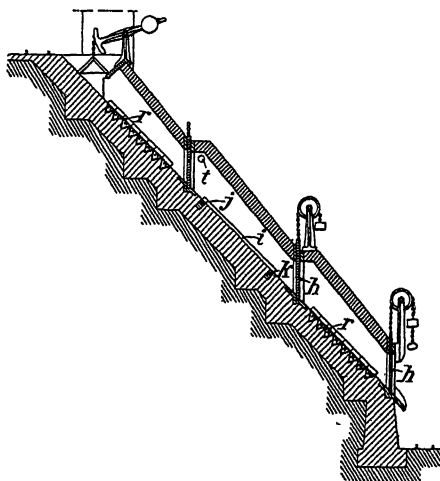


Fig 56. Gipsofen von Clerc und Koechlin.

zuführungen aus Kupfer innerhalb des Ofens angebracht sind, nicht ausfahrbar sein. Dasselbe trifft zu auch in bezug auf den Schachtofen (Fig. 55) mit seinen in stromführenden Kupferlagern w ruhenden Widerständen. Mehr Interesse beansprucht der Ofen zum Brennen von Gips (Fig 56), da die Brenntemperatur des Gipses nur gering ist (etwa 200°) und es viel darauf ankommt, die Berührung des heißen Gipses mit reduzierenden Gasen zu vermeiden. Der Ofen besteht aus drei geneigten Ebenen, die voneinander durch eiserne Schieber h getrennt sind. Im mittleren Raum des Ofens befindet sich ein Rost

aus Heizwiderständen i , die auf den stromführenden Barren j liegen und durch den Transformator m gespeist werden. Die hier fertig

gebrannte, d. h. entwässerte Beschickung rutscht nach der untersten Abteilung, in welcher eine Reihe von Rippenröhren r , durch die kalte Luft eingeblasen wird, die Sohle bildet. Infolgedessen wird die heiße Beschickung schnell abgekühlt und die von der Luft aufgespeicherte Wärme wird in der obersten (ersten) Abteilung zur Vorwärmung des rohen Gesteins benutzt.

Der ebenfalls zum Brennen von Kalkstein bestimmte Ofen von F. Le Roy¹⁾ (Franz. Pat. 320659) besteht aus einem Schachtofen (Fig. 57), der in seinem unteren Teile einen trichterförmigen Ring aus gitterartig zusammengesetzten Steinen c enthält. In dem so entstehenden freien Raume b ist eine Anzahl Heizwiderstände $a a$ aus siliziumhaltigen Stäben angeordnet. Die Luft tritt durch die Kanäle d ein, erhitzt sich an den Widerständen a und strömt dann durch das Steingitterwerk c in den Ofen hinein. Wenn auch in einem solchen Ofen der er-

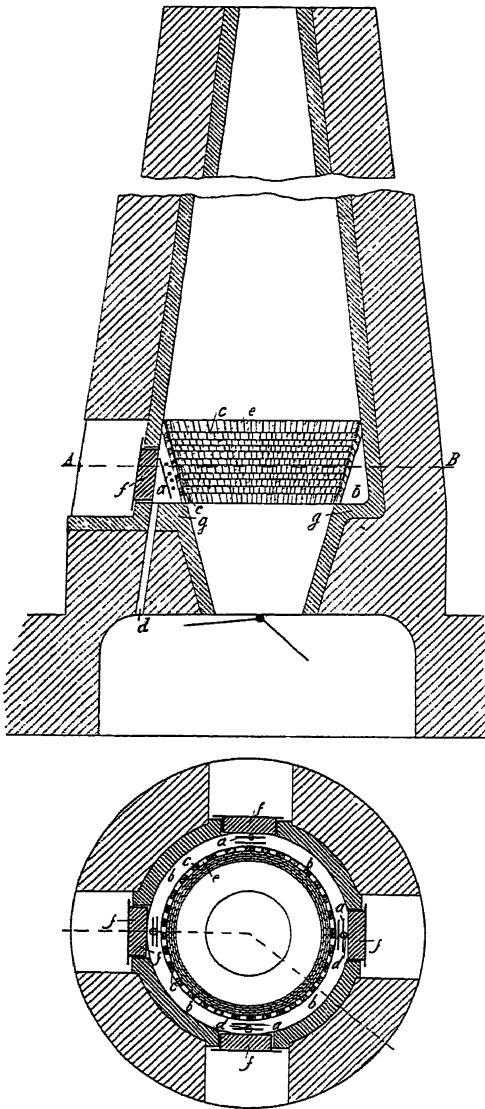


Fig 57. Kalksteinofen von Le Roy.

haltene gebrannte Kalk ganz frei von Aschenbestandteilen ist, so dürfte doch dasselbe Ziel selbst bei sehr teurem Brennmateriale durch

1) Moniteur céramique 1904, Bd. 35, S. 153.

die Schachttöfen mit Gasgeneratorbetrieb sich viel leichter erreichen lassen. Abgesehen hiervon läßt auch die Konstruktion des Ofens viel zu wünschen übrig; denn die Abnutzung der Steine *c*, die den großen Teil der Ofenbeschickung zu tragen haben und in der heißesten Zone des Ofens der fortwährenden Reibung mit dem glühenden Kalk ausgesetzt sind, dürfte zu groß ausfallen.

Der zum Brennen von Zement und Rösten von Gesteinen, Erden und dergl. bestimmte Ofen von J. M. Carrère¹⁾ (D. R. P. 157371) besteht aus einem schräg gelagerten, drehbaren Stahlzylinder *a* (Fig. 58), der mit einem schlechten Elektrizitätsleiter, z. B. Graphit, dessen Leitungsvermögen mit steigender Temperatur zunimmt, ausgefüllt ist. Die Graphitschicht *b* ist vom Stahlzylinder *a* durch

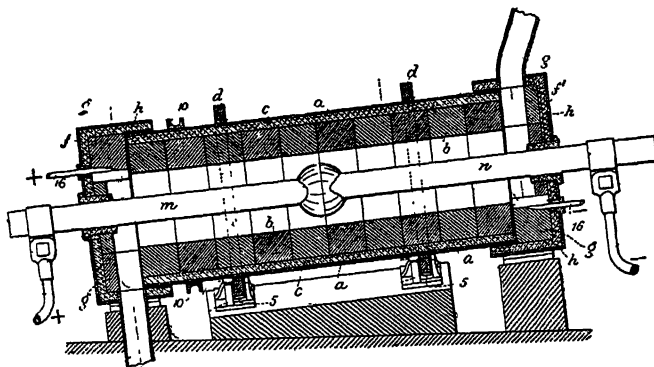


Fig 58. Zement- und Röstofen von Carrère.

eine Lage Asbest *c* oder einen anderen schlechten Wärme- und Elektrizitätsleiter isoliert. Die Umdrehung des Zylinders geschieht durch eine Scheibe 10. Die trommelartig ausgebildeten Zylinderdeckel *f* und *f'* sind ebenfalls mit Graphit oder einem anderen schlechten Elektrizitätsleiter ausgefüllt, welcher durch eine Asbestschicht *h* vom Metall getrennt ist. Die Deckel sind mit Kontaktstücken *l* versehen, welche leitend mit dem Graphitfutter des Zylinders verbunden sind und als Stromzuführungen dienen. Auf diese Weise kann die innere Oberfläche der Ausfütterung zum Glühen gebracht werden. Außerdem gehen durch die Mittelöffnungen der Deckel, jedoch von diesen isoliert, zwei starke Kohlenelektroden *m* und *n* durch. Sie sind in der Längsachse der Isolation derart verschiebbar, daß der zwischen den Kohlen erzeugte Lichtbogen an jedem beliebigen Punkt innerhalb des Zylinders zur Wirkung gelangen kann und so die größte Hitze in diesem Punkte erzeugt wird. Zum schnelleren

1) Franz. Pat. 331740; Engl. Pat. 10194 (1903); Amerik. Pat. 726860.

Anheizen des Ofens wird empfohlen, erst den Lichtbogen herzustellen und durch Hin- und Herschieben der Kohlenelektroden die Oberfläche der graphitischen Ausfütterung zum Gluhen zu bringen, während mit Hilfe des durch die Zuleitungsstücke 1 eintretenden Stromes sie weiter erhitzt und glühend erhalten wird.

Dem gleichen Zweck — zum Brennen von Kalk, Ton und dergl. — soll auch der Ofen von W. H. Fahrney (Fig. 59, Amerik. Pat. 590057) dienen, der je nach der zu erreichenden Temperatur mit gewöhnlicher Feuerung oder auch mittels Lichtbogens geheizt

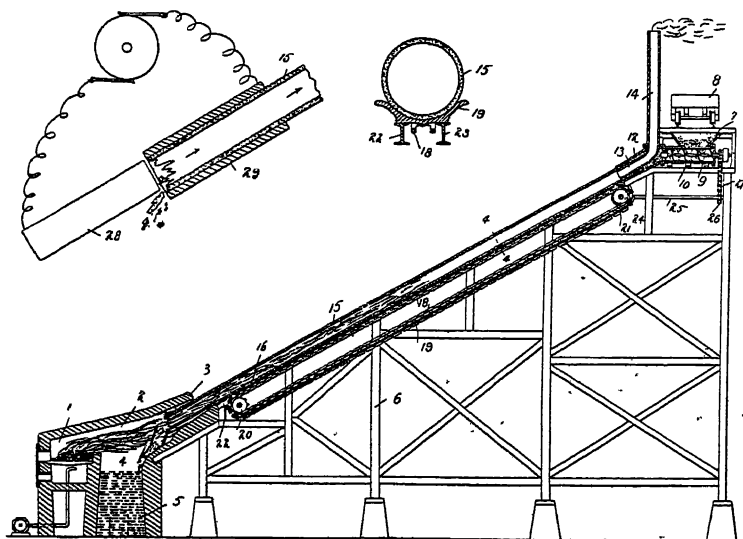


Fig 59. Kalkmierofo von Fahrney.

werden kann. Im letzten Falle spielt der Flammbogen an der Mündung des Ofens zwischen den Elektroden 28 und 29. Die übrige Anordnung des Ofens ist aus den Abbildungen ohne weiteres verständlich.

Einer der ältesten Vorschläge, geformte Tonwaren elektrisch zu brennen, rührt wohl von F. von Poschinger (Engl. Pat. 13 095 von 1892) her. Demnach können Muffeln, Brennöfen usw. in der Weise elektrisch heizbar gemacht werden, daß die Ofenwände zum Teil aus elektrisch leitenden Steinen (z. B. graphithaltigen Ziegeln) zusammengesetzt sind. Beim Einschalten in den Stromkreis erglühn dann die Wände und strahlen auf das Brenngut Hitze aus.

Viel mehr versprechend sind schon die von W. Mitchell (Amerik. Pat. 494586) konstruierten Tiegel- und Muffelöfen (Fig. 60 u. 61). Der Boden A der Heizapparate ist aus elektrisch nicht

leitendem Material; ebenso sind die beiden Stirnwandungen B_3 elektrisch nichtleitend; die beiden Seitenwandungen B_1 und B_2 bestehen aus einem Gemisch von etwa 1 Teil feuerfesten Ton mit 4 Teilen Graphit und sind mithin Leiter von hohem elektrischen Widerstand. In den Wandungen sind Kupferplatten C eingebettet, die mit Strom-

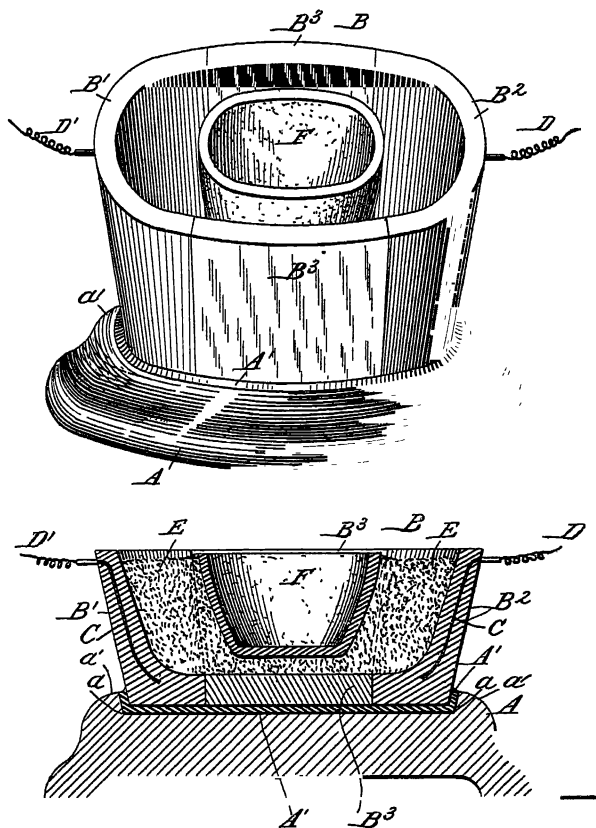


Fig 60. Tiegelofen nach Mitchell

anschlüssen D versehen sind. E ist Graphitpulver, das die Heizgefäße umgibt. Beim Einschalten dieser Apparate in den Stromkreis werden die leitenden Wandungen B_1 und B_2 sowie die Graphitfüllung E glühend. Nur ist anzunehmen, daß die Wandungen B_1, B_2 sich stärker erhitzen werden als die Graphitfüllung, wodurch die Wärmeverteilung ungünstig wird. Außerdem ist noch in Betracht zu ziehen, daß Gemische von Ton und Graphit, wenn sie hohen Temperaturen ausgesetzt sind, sehr rasch ihre Leitfähigkeit einbüßen. Man kann sich den Vorgang so denken, daß die an der Oberfläche der Platten befindlichen Graphiteilchen nach und nach ausbrennen,

so daß die Wandung dann mit einem Netzgebilde von reinem Ton überdeckt bleibt und den Stromübergang gar nicht mehr vermittelt. Dank der Erfindung des künstlichen Graphits, den man auch in breiten Platten haben kann, könnte man die Wandungen $B_1 B_2$ aus reinem Graphit machen, wodurch auch die Verteilung der Wärme viel günstiger wird. Aber selbst mit diesen Verbesserungen weist noch diese Anordnung die Unbequemlichkeit des sehr geringen inneren Widerstandes auf, wodurch man auf Anwendung eines Stromes von geringer Spannung und recht hoher Stromstärke angewiesen sein würde.

In dieselbe Kategorie von Apparaten fallen die bereits im vorhergehenden Abschnitte beschriebenen Kohlengrießöfen des Verfassers. Infolge der viel längeren stromdurchflossenen Bahn haben diese Apparate genügend inneren Widerstand, um direkt an das Stromnetz

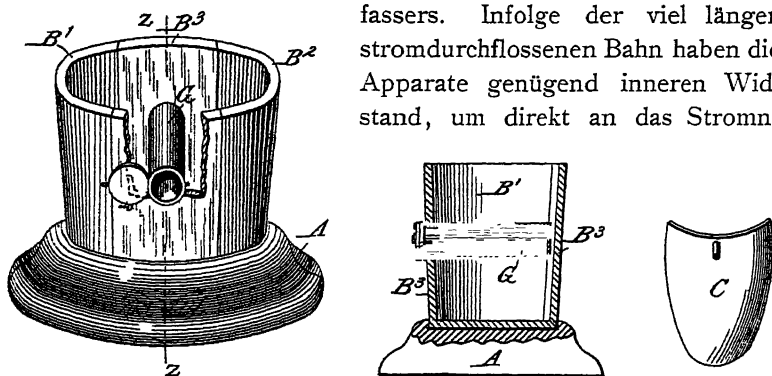


Fig 6r. Muffelöfen nach Mitchell.

angeschlossen zu werden. Da die Füllung derselben nicht aus Graphitpulver, sondern mit Kohlengrieß von 1 bis 2 mm Korngröße besteht, so schwankt der Stromverbrauch in viel geringerem Maße.

Werden die zu brennenden Gegenstände ohne weiteres in die Widerstandsmasse eingebettet, was als das Einfachste und Nächstliegende erscheint, so ergeben sich bei Durchführung des Prozesses große Schwierigkeiten, und das Brennen mißlingt trotz sorgfältigster Stromregulierung fast ausnahmslos. Der Grund hierfür liegt in der Natur des kleinstückigen Widerstandsmaterials selbst, welches sich nicht wie ein kontinuierlicher Elektrizitätsleiter, bei dem nur spezifische Leitungsfähigkeit und Querschnitt in Betracht kommen, verhält. Die Heizwirkung des die kleinstückige Widerstandsmasse durchfließenden Stromes hängt in noch höherem Maße, als von den beiden erwähnten Faktoren, von den Übergangswiderständen ab, welche zwischen den einzelnen Körnern der Widerstandsmasse auftreten, und diese Widerstände sind wiederum unter anderem abhängig

von dem Drucke, dem die Körner bei ihrer Schichtung ausgesetzt sind.

Die Erkenntnis dieser Eigentümlichkeiten einer lose aufgeschichteten Widerstandsmasse führte den Verfasser zur Ausbildung einer Arbeitsweise (Österr. Pat. 25 133 ¹⁾), bei der die kleinstückige Widerstandsmasse lediglich dem Drucke ihres eigenen Gewichtes ausgesetzt ist.

Dies wird dadurch erreicht, daß die zu brennenden Gegenstände oder die dieselben einschließenden Kapseln nicht auf die

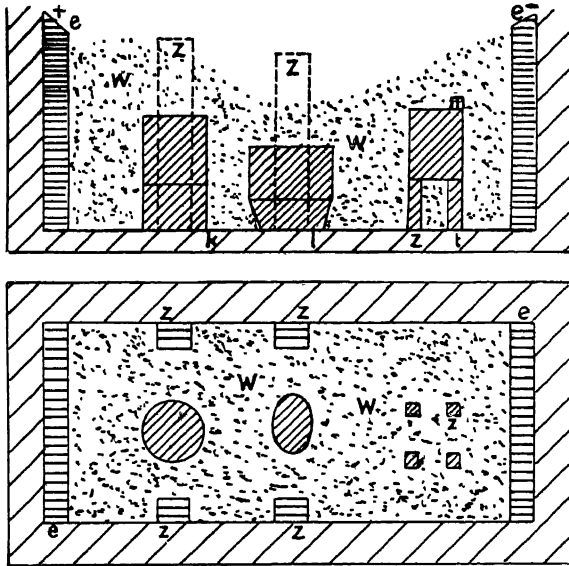


Fig. 62 Brennen im Kohlengrieß nach Bronn.

Widerstandsmasse selbst, sondern auf feste, d. h. nicht zusammen-drückbare Unterlagen, die aus zusammenhängendem oder unterbrochenem, leitendem oder nicht leitendem Material bestehen können, aufgesetzt werden, wobei sie, mit Ausnahme der Auflagefläche, allseits von kleinstückigem Widerstandsmaterial umgeben sind. Der nach diesen Gesichtspunkten entworfene Ofen (Fig. 62) besteht aus einer Kammer, die mit zwei oder mehreren, zweckmäßig aus Kohlenplatten bestehenden Stromzuführungen *e* ausgerüstet ist. *k*, *l*, *m* bedeuten die keramischen Erzeugnisse, welche gebrannt werden sollen. Hierbei können einfache Töpferwaren direkt in die Widerstandsmasse *w* eingebettet werden, während bessere Waren, namentlich

1) Angemeldet auf den Namen: Gesellschaft Becker & Co. m. b. H.

bemalte oder glasierte Erzeugnisse, in Kapseln eingesetzt und diese dann in die Widerstandsmasse eingebettet werden. In beiden Fällen werden die zu brennenden Gegenstände, wie bereits erwähnt, auf Unterlagen *t* aufgesetzt, damit ein Druck auf die Widerstandsmasse vermieden wird.

Durch die Einbettung der zu brennenden Gegenstände in die kleinstückige Widerstandsmasse erhält die letztere an verschiedenen Stellen der Ofenkammer sehr verschiedene Querschnitte, wodurch

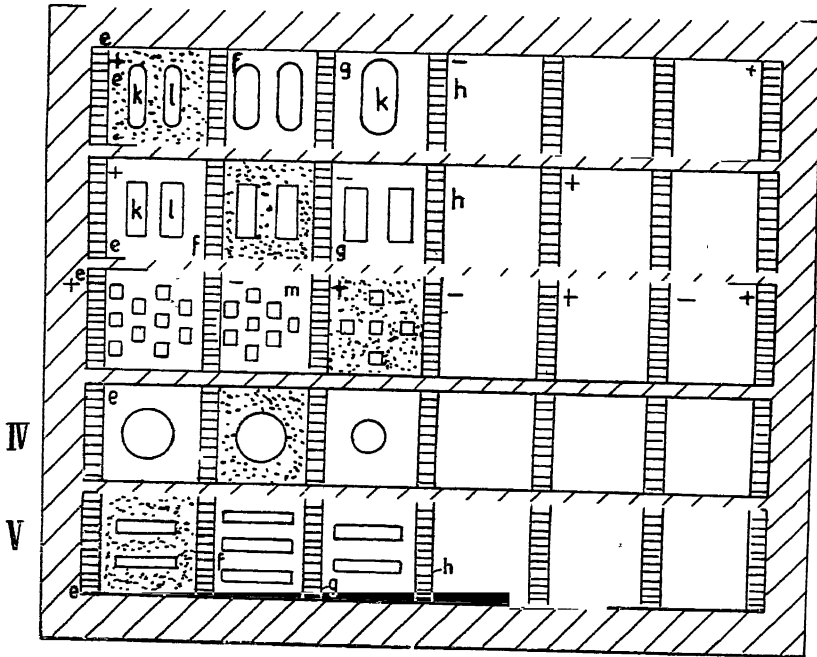


Fig 63. Kohlengrieß-Ringofen nach Bronn.

auch die Heizwirkung an diesen Stellen eine verschiedene wird. Diese Ungleichmäßigkeit läßt sich indessen dadurch auf ein praktisch ausreichendes Maß herabmindern, daß man an verschiedenen Stellen längs der Wandungen, namentlich an den durch Einbettung größerer Gegenstände erheblich verschmälerten Querschnitten der Widerstandsmasse leitende Zwischenstücke *z* einsetzt. Dieselbe Wirkung kann auch ohne Zuhilfenahme leitender Zwischenstücke erreicht werden, wenn die Kapseln selbst auf irgendeine Weise, wie z. B. durch einen Graphitschichtbelag, leitend gemacht worden sind.

Zur Erhitzung der Kammern läßt sich Strom von gewöhnlicher Netzspannung anwenden, und zwar können die Kammern um so länger sein, je höher die vorhandene Stromspannung ist. Die

Anbringung von Zwischenelektroden *f, g, h* (Fig. 63) ermöglicht es, selbst Kammern von größerer Länge unter Anwendung verhältnismäßig geringer Stromspannungen zu erhitzen. Soll die an und für sich allmählich fortschreitende Anwärmung der Kammern noch mehr verzögert werden, so kann dies ohne Zuhilfenahme von Vorschaltwiderständen, also ohne Energieverluste, vorgenommen werden, indem durch Umschaltung der Stromzuführungen zu den einzelnen Kammern dieselben hintereinander oder parallel geschaltet werden. So zeigen beispielsweise die Kammern *I, II, III* verschiedenartige Schaltungsarten (vergl. die \pm - und $-$ -Pole), um die Kammerreihe *I*, wo drei Abteilungen *e, f, g* in Serie geschaltet sind, schwach, *II* (mit je zwei in Serie geschalteten Abteilungen *e* bis *f* und *g* bis *h*) stärker und *III* noch stärker zu erhitzen.

Des ferneren erschein es zweckmäßig, die Kammern nahe aneinander anzu-
bringen, wodurch ein kontinuier-

licher Ringbetrieb unter gleichzeitiger Vermeidung oder Verringerung der infolge von Ausstrahlung auftretenden Wärmeverluste ermöglicht wird, insofern hierbei die sonst von den Wänden in die Atmosphäre ausgestrahlte, mithin verlorengehende Hitze zum allmählichen Vorwärmen und zur Verlangsamung der Abkühlung der benachbarten Kammern nutzbar verwendet wird. Die die benachbarten Kammerreihen trennenden Zwischenräume können aus lose aufgesetzten Normalsteinen bestehen und brauchen nicht einmal luftdicht eingemauert zu werden.

Diese Art Heizung eignet sich auch gut zum Brennen von Kohlenfäden für die Glühlampen. Kohlenklötze mit aufgerollten Fäden werden nach der Verkohlung bei verhältnismäßig niedriger Temperatur einzeln in Zellen oder Kästchen aus Kohle oder Graphit eingekapselt. Die Kapseln werden dann in einem mit Magnesit-

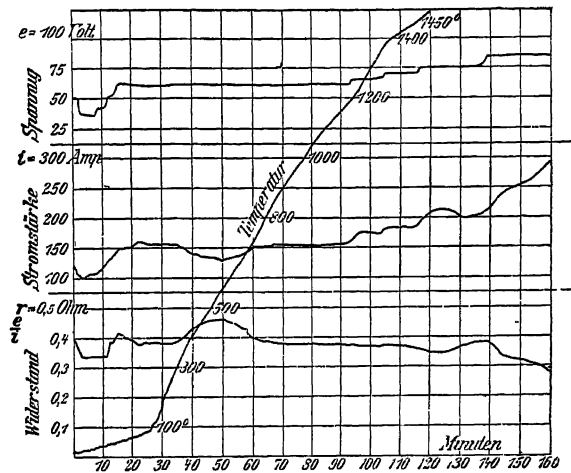
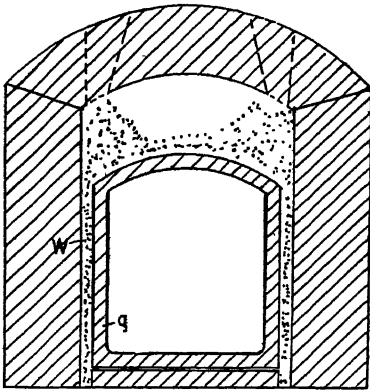


Fig. 64 Strom- und Temperaturverhältnisse beim Brennen von Kohlenfäden im Kohlengießofen von Bronn

steinen ausgemauerten länglichen Blechkasten einzeln in die Widerstandsmasse eingesetzt oder eingegraben. Der Kasten war an seinen



Längswänden mit starken Eisenblechen, die als Elektroden dienten, versehen und konnte so in den

Stromkreis eingeschaltet werden. Das Anwärmen und Glühen dauerte etwa 3 Stunden, nach welchen die Schmelztemperatur der Marquardtschen Masse erreicht wurde. Die Abkühlung dauerte etwa 2 Stunden, und die erhaltenen Fäden waren mit einem grauen graphitischen Anflug bedeckt. Die Stromverhältnisse¹⁾ sind aus der Fig. 64 ersichtlich. Die Stromregulierung konnte im vorliegenden Falle insofern bequem und ohne Verluste erfolgen, als der Ofen durch eine eigene Dynamomaschine gespeist wurde.

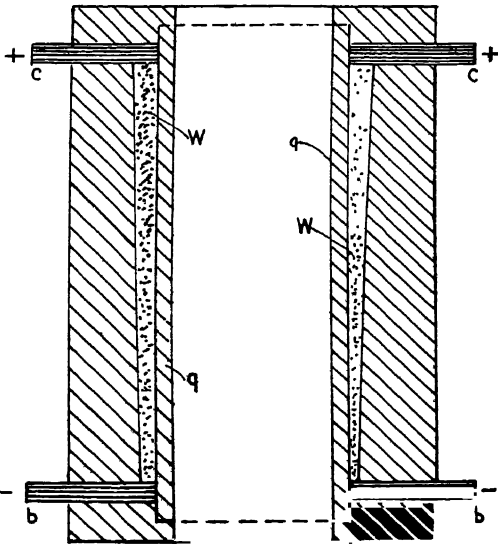


Fig. 65. Kanalofen mit Kohlengrieß von Bronn zum allmählichen Anwärmen oder Abkühlen.

Die Fig. 65 veranschaulicht einen vom Verfasser entworfenen Kanalofen²⁾ (D. R. P. 186383), in dem das auf Wagen oder Schlitten eingefahrne Gut mit fortschreitender Bewegung immer stärker und stärker erhitzt wird. Der Brennraum des Ofens ist durch einen zur

Aufnahme der körnigen Heizwiderstandsmasse W bestimmten Hohl-

1) Über den Zusammenhang der Schwankungen des Widerstandswertes mit der Gasabsorption des Kohlengrießes vergl. J. Bronn, Elektrotechn. Zeitschr. vom 1. März 1906.

2) Das D. R. P. lautet auf den Namen der Kryptolgesellschaft; Engl. Pat. 24235 (1902); Franz. Pat. 326073; Schweizer. Pat. 27642.

raum umgeben und in diesen ragen die Elektroden *b* und *c* hinein; wird nun das Ganze in den Stromkreis eingeschaltet, so werden diejenigen Stellen des Kanals am meisten erhitzt, wo die Heizwiderstandsschicht am geringsten ist. In ähnlicher Weise können auch Kühlöfen zum ganz langsamen Abkühlen erhitzter Gegenstände, z. B. Hohl- und Preßglas, gebaut werden. Hier wird man zweckmäßig das Gut nicht mittels eines Wagens, sondern mittels eines sich langsam bewegenden Transportbandes durch den Ofen führen.

Eine andere Art elektrischer Ringöfen schlug K. Meiser¹⁾ (D. R. P. 161461) vor. Sie sollen sich besonders für solche Fälle eignen, in welchen das Brenngut nur langsam angewärmt werden darf. Sind die zu erheizenden Gegenstände leitend, so können sie selbst als Heizwiderstand dienen, im anderen Falle durch Einbetten in leitende Masse erhitzt werden. Um die bei der Abkühlung eines Postens Brenngut freiwerdende Wärme zur Vorwärmung des frischen Einsatzes nutzbar zu machen, läßt man Wind durch die erhitzten Kammern zirkulieren. Der Ofen wird speziell zum Bren-

nen von Glühlampenfäden, Elektrodenkohlen und dergl. empfohlen. Die stromzuführenden Elektroden *p* und *n* (Fig. 66) sind im Boden und in der Decke jeder Kammer vorgesehen. Die unteren Elektroden bleiben stets an ihrer Stelle, während die obere nur in die gerade im Brande befindliche Kammer (nach der Fig. 66 ist die Kammer 2 in diesem Stadium) eingelassen wird. Die Kammer 2 wird also elektrisch geheizt, Kammer 8 und 1 kühlen ab, Kammer 3, 4, 5 werden vorgewärmt, Kammer 6 wird neu beschickt und Kammer 7 entleert. Die Wärmeübertragung von den Kammern 8, 1 und 2 an die Kammern 3, 4 und 5 geschieht durch zirkulierenden Wind, der in die Kammer 8 eintritt und dann durch die Kammern 1, 2,

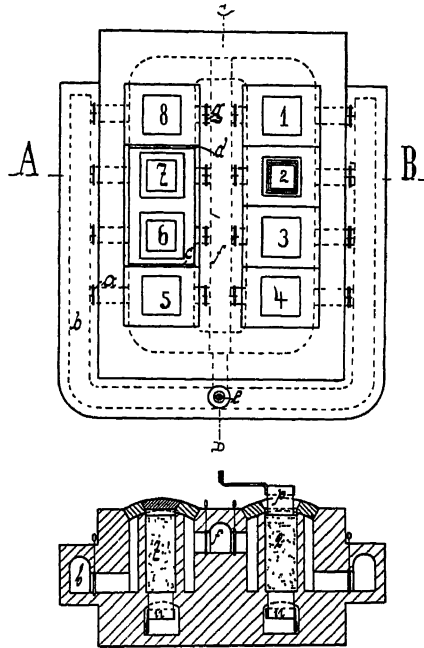


Fig. 66. Ringofen von Meiser mit Luftzirkulation und senkrechter Stromführung

1) Amerik. Pat. 806690.

3, 4 und 5 durchzieht; zu diesem Zwecke ist bei *e* ein Ventilator aufgestellt, der den Wind aus der Kammer 5 saugt und ihn wieder nach 8 drückt. Statt Luft kann man auch andere Gase zirkulieren lassen. Durch die Fig. 67 ist ein Ringofen mit horizontaler Elektrodenanordnung dargestellt. Ferner wird noch eine Kombination des elektrischen Ringofens mit dem gewöhnlichen Ringofen beschrieben. In diesem Ofen wird zuerst mit Gas geheizt und nur

am Ende des Brandes zur Erzielung der sonst mit Gas unerreichbaren Temperaturen elektrisch nachgeheizt.

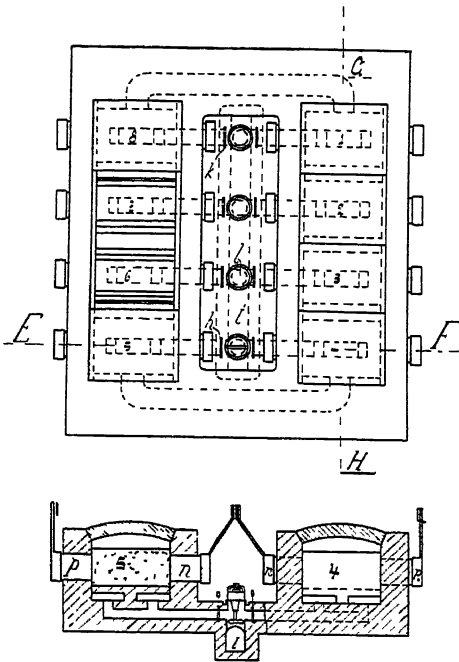


Fig. 67. Ringofen nach Meiser mit horizontaler Stromführung

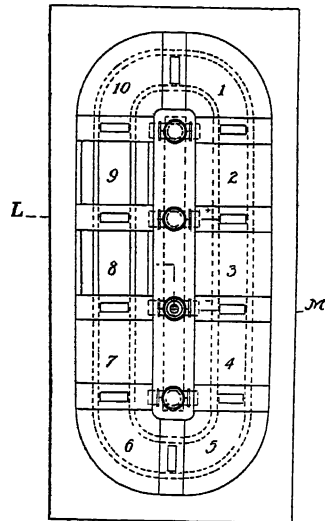


Fig 68

In der Ausführung nach der Fig. 68 sind die Brennkästen selbst zu einem Ringkanal vereinigt. In demselben befindet sich das Brenngut abwechselnd mit Elektroden *p*, wie in der Fig. 66. Zwei bestimmte Elektroden sind an die Leitung angeschlossen, so daß das dazwischen eingeschlossene Brenngut (Kammer 3) vom Strome umflossen und erhitzt wird. Die Luft- bzw. Gaszirkulation, die den Meiserschen Konstruktionen Patentfähigkeit verleiht, ist auch bei dieser Anordnung beibehalten worden. Nach den Erfahrungen des Verfassers ist jedoch jeglicher Zutritt von Luft wenigstens beim Brennen von Kohlenfäden für dieselben geradezu verhängnisvoll.

Die elektrische Heizvorrichtung zur Herstellung von Lichtbogen- elektroden und dergl. von J. L. Roberts (Amerik. Pat. 511459), in

der die Kohlenstifte *J* (Fig. 69) in Sand eingebettet und zwischen den metallischen Heizwiderständen *J* eingeschlossen sind, bietet gegenwärtig kein weiteres Interesse mehr.

Das eigentümliche Verhalten der kleinstückigen Heizwiderstandsmasse dem elektrischen Strome gegenüber, die dabei vorkommenden Schwankungen sowie die oft auftretende reduzierende Atmosphäre innerhalb der Brennmuffel führten W. Hadaway zur Konstruktion einer Brennmuffel für Porzellan (Amerik. Pat. 579324), bei der die erwähnten Übelstände vermieden werden sollen. Wenn auch mit

Sicherheit anzunehmen ist, daß Hadaway seinen Zweck nicht erreichte, so fußte doch sein Vorschlag auf Beobachtungen des Verhaltens der Widerstandsmasse und verdient daher, einiges

Interesse zu beanspruchen. Die Brennmuffel *f* (Fig. 70) ist so mit einer konzentrischen feuerfesten Wandung *g* umgeben, daß ein freier ringförmiger Raum zwischen *f* und *g* bleibt. In

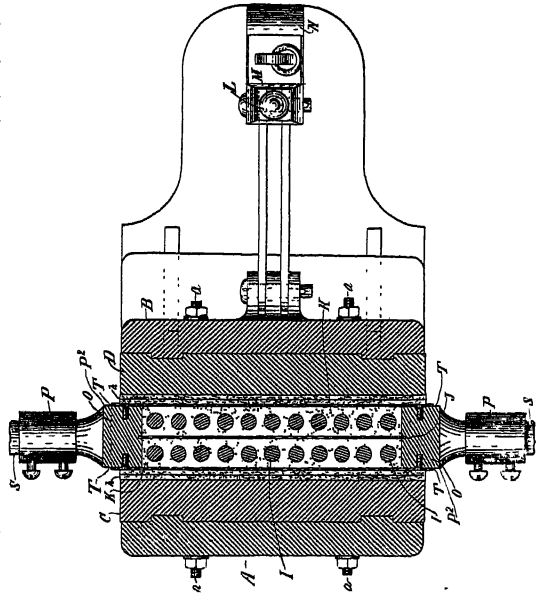


Fig. 69. Brennen von Kohlenstiften nach Roberts.

g befinden sich zahlreiche kleine Löcher *h*. Der Zwischenraum zwischen der äußeren feuerfesten Ummantelung *f* und *g* ist mit Kohlenstückchen *k* aufgefüllt. Hadaway fand, daß die Stromschwankungen abnehmen, wenn die Länge der Heizwiderstandsschicht größer als ihr Umfang ist, was auch der Verfasser bestätigen kann. Aus diesem Grunde wählt nun Hadaway die Abmessungen derart, daß die Länge der Muffel bedeutend größer als ihr Durchmesser ist. *C—C* sind die an den Muffelenden befindlichen Kohlenelektroden. Da jedoch die Muffel, je nachdem wie innig sich die einzelnen Kohlenbrocken untereinander berühren, ungleichmäßig heiß wird, so wurde zur Abhilfe in die Widerstandsmasse Kohlenwasserstoffgas, wie z. B. Leuchtgas, eingeleitet. Dieses soll sich an den heißesten Stellen unter Absonderung von Ruß zersetzen, wodurch die Über-

gangswiderstände zwischen den Kohlenbrocken sich ausgleichen würden. Gleichzeitig damit dringt der frei werdende Wasserstoff durch die Löcher h in den Zwischenraum zwischen der Brennmuffel f und dem Mantel g ein, wohin durch a auch atmosphärische Luft zugelassen wird, um den Wasserstoff zu verbrennen.

Auf diese Weise soll die Muffel sehr hoch erhitzt werden können und dabei vom Eindringen reduzierender Gase (namentlich Kohlenoxyd) völlig gesichert sein.

Es ist kaum nötig, noch besonders zu erwähnen, daß dort, wo es sich nur um gelegentliches Brennen von nicht zu großen Gegenständen oder Mengen handelt, man die im vorhergehenden Abschnitt beschriebenen, sei es mit metallischen oder Kohlengrieß-Heizwiderständen versehenen Öfen benutzen kann.

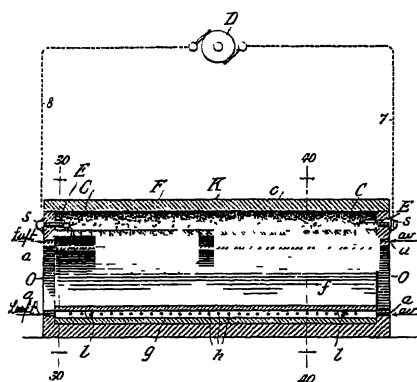
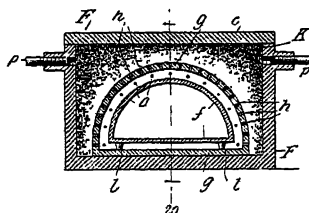


Fig. 70.



In seinem Engl. Patent 19184 von 1894 beschreibt J. Davis eine elektrisch heizbare Brennmuffel, die ganz wie eine Muffel mit Gasheizung oder direkter Feuerung konstruiert ist. Der sonst für die Verbrennung freibleibende Zwischenraum ist mit Heizwiderstandsplatten ausgefüllt. Diese werden in der Weise hergestellt, daß Graphitpulver mit Kaolin oder dergl. unter Zusatz von Wasser vermischt, geformt und gebrannt bzw. getrocknet wird. Man erhält auf diese Weise Heizwiderstandskörper von hohem elektrischen Widerstande.

Auch sonst findet man in der Patentliteratur vielfach Vorschläge, Heizwiderstände aus plastisch gemachten Gemengen von Graphit mit Tonen und Erden herzustellen. Soweit jedoch die Erfahrungen des Verfassers reichen, haben sich alle bis jetzt auf solche Weise hergestellten Heizkörper, sobald man die Temperatur auch nur bis zu ersten Glüherscheinungen steigen ließ, von nur geringer Lebensdauer erwiesen.

V. tlich r - d V r-
t mitt l b i ch Ch r kt r d i V r-
rb it r b .

Der bereits von Richters vor etwa vier Jahrzehnten ausgesprochene Satz, daß die reinen Silikate der Tonerde (gemeint ist namentlich $Al_2 O_3 \cdot 2 Si O_2$) in der Hitze unserer Öfen nicht zerfließen, trifft auch für die gegenwärtigen Verhältnisse zu¹⁾. Man sollte daher annehmen, daß es nicht schwierig sein dürfte, für jedweden Gebrauch genügend feuerfeste Steine zu erhalten, um so mehr, als in allen Ländern mit hoch entwickelter Industrie auch zahlreiche Lagerstätten von schwer schmelzbaren Tönen bekannt sind. Erst verhältnismäßig spät brach sich die Einsicht Bahn, daß ein bei der Prüfung als höchst feuerfest befundenes Material noch deshalb nicht in allen Fällen das bestgeeignete ist, und daß die aus solchem Material aufgebauten Wände auch in nicht besonders heiß betriebenen Öfen unter Umständen ihre Feuerbeständigkeit einbüßen können. In jeder Heizanlage kommen die glühenden Ofenwände, Sohle und Gewölbe, sei es mit der Ofenbeschickung selbst oder mit den aus dieser sich entwickelnden Gasen, Dampfen und mitgerissenen Staubteilchen in Berührung. In allen diesen Fällen treten chemische Reaktionen zwischen den Bestandteilen der Beschickung und den Ofenwandungen ein, zu welchen sich noch meistens die Wirkung der mit den Heizgasen mitgeführten Flugasche gesellt. Es entstehen infolgedessen an den nach innen gekehrten Oberflächen verhältnismäßig leicht schmelzbare glasige Überzüge, die in der Ofenhitze mehr oder weniger flüssig bleiben und die Ofenausfütterung allmählich auflösen. Dieser Zerstörungsprozeß läßt sich zwar nur selten ganz vermeiden, wohl

Zur Wahl des
Schamotte-
materials beim
Ofenbau.

1) Bei der Herstellung von Karbiden, von Graphit und von Karborund kommen zwar noch über dem Schmelzpunkte des Kegels 35 liegende Temperaturen in Betracht, allein dank der Eigenart dieser Betriebe wird die höchste Hitze nur innerhalb des Brenngutes selbst erzeugt, so daß man auch hier sich mit den üblichen feuerfesten Steinen behelfen kann.

aber dadurch wesentlich verzögern, daß man für die Ofenausfütterung nur solches feuerfestes Material wählt, welches mit den Bestandteilen der Ofenbeschickung keine leicht schmelzbaren Verbindungen bildet. Wie aus der Fig. 3 (S. 37) ersichtlich, gibt es hoch feuerfeste Massen zwischen sehr tonerdereichen („basischen“) wie auch zwischen kieselsäurereichen („sauren“ oder „Dinas“-) Tonen. Die letzteren weisen oft einen Kieselsäuregehalt von über 90 % auf und bilden in der Ofenhitze mit Alkalien und Erdalkalien leicht schmelzbare Silikate. Die tonerdereichen Steine (mit etwa 40 % Tonerde) haben eine mehr neutrale Natur, da die darin enthaltene Tonerde und Kieselsäure miteinander verbunden sind, und man wendet sie an, wo alkalisch reagierende Materialien hoch erhitzt werden, z. B. in Brennöfen für Kalk, in Kalzinieröfen für Soda, für Tonerde (Aluminatverfahren) usw.

Meistens liegen jedoch die Verhältnisse nicht so einfach, und man ist angewiesen, neben der chemischen Zusammensetzung des feuerfesten Materials noch mit anderen Faktoren zu rechnen. Vor allem kommen dabei dessen Schwindungsgrad (Volumenabnahme in der Hitze) und Widerstandsfähigkeit gegen Temperaturwechsel in Betracht. Da die tonerdereichen („basischen“) Steine einen hohen Schwindungsgrad haben, sind sie zur Herstellung von flachen Ofengewölben wenig geeignet; die Dinassteine schwinden in der Hitze nicht, sie haben vielmehr Neigung zu wachsen und werden daher zum Gewölbebau vorgezogen. Dagegen vertragen die kieselsäurereichen Steine keine starken Temperaturwechsel und können infolgedessen zum Bau von diskontinuierlich arbeitenden Öfen, z. B. für keramische Brennöfen, wo jede Kammer nach dem Brennen ganz abgekühlt, geleert, mit frischem Brenngut beschickt und wieder hoch erhitzt wird, nicht verwendet werden. In der Tat werden hier in der Regel tonerdereiche Steine nur deshalb verwendet, weil sie bei geeigneter Herstellung (Versatz mit groben Schamottekörnern) gegen Temperaturwechsel unempfindlich bleiben. Von einer sachgemäßen Wahl des feuerfesten Materiales hängt nicht nur die Lebensdauer der Ofenanlage ab, sondern auch die Güte der darin erzeugten Produkte. So z. B. werden in den Schmelzöfen für Glas die Gewölbe aus Dinassteinen hergestellt, trotz dem Umstande, daß gerade hier die ganze Ofenatmosphäre mit Alkalidämpfen geradezu geschwängert ist. Der Grund für diese scheinbar unrationelle Bauart liegt darin, daß die an der Ofendecke sich bildenden Tropfen der Alkalisilikate beim Herunterfallen in die Glasschmelze sich in derselben ohne weiteres auflösen; würde das Gewölbe aus tonerdehaltigen Steinen bestehen, und etwas davon in die Glas-

schmelze geraten, so gäbe dies Veranlassung zu allerlei Fehlern im Glase, da die Tonerdesilikate von der Glasschmelze nur langsam aufgelöst werden

In zahlreichen anderen Fällen kommt es weniger auf die Schwerschmelzbarkeit des feuerfesten Materials als auf dessen Dichte an; so z. B. eignen sich zur Herstellung von Glashäfen die höchst schwer schmelzbaren kaolinhaltigen Massen nicht, weil sie auch im Ofenfeuer stets porös bleiben und der eindringenden Glasschmelze eine außerordentlich große Angriffsfläche bieten; Ähnliches ist auch bei Koksofen der Fall, bei welchen, wie Otto¹⁾ wohl zuerst nachgewiesen hat, die aus vielen Kohlenarten aufsteigenden Kochsalzdämpfe es sind, welche dem feuerfesten Materiale mit Zerstörung drohen.

Diesem Sachverhalte entsprechend, erscheint als die nächstliegende Hauptaufgabe der Schamotteindustrie, nicht so sehr die Steigerung der Schwerschmelzbarkeit, welche für die meisten Ansprüche auch ohnedies genügt, als die Erhöhung der Unangreifbarkeit bei hohen Temperaturen bzw. der Widerstandsfähigkeit chemischen und mechanischen Einwirkungen gegenüber anzustreben. Man könnte annehmen, daß der Weg zur Lösung dieser Aufgabe gewissermaßen durch die Entwicklung der ganzen Töpferkunst, von der die Schamotteindustrie nur einen der jüngsten Sproßlinge bildet, vorgezeichnet ist: auch dort war man zuerst nur auf poröse Produkte angewiesen; man lernte dann, durch Erzeugung einer geschmolzenen Glasurschicht auf der Oberfläche des porösen Geschirrs es dicht zu machen, und so entstanden die Majolika-, Fayence- und Steingutwaren; schließlich gelang es, den Scherben selbst dicht (glasig) zu erhalten, und dabei stellte es sich heraus, daß die Verglasung des Scherbens (wie z. B. bei Porzellan, Steinzeug) eine außerordentliche Steigerung der Widerstandsfähigkeit gegenüber mechanischer Beanspruchung wie dem Temperaturwechsel mit sich bringt. In der Tat sind bereits vielfach Versuche gemacht worden, Schamottewaren mit „feuerbeständigen Überzügen“ zu versehen. Die Schutzwirkung wird bewirkt weniger durch eine besonders hochgradige Schwerschmelzbarkeit des Überzuges, die mitunter sogar unterhalb derjenigen des eigentlichen Schamottekernes ist, als durch die sehr dichte, meistens glasige Beschaffenheit, und entspricht daher ganz und gar der Glasur im Steingut. Ob jedoch der angedeutete und auch beschrittene Weg zur Erzielung auch bei hohen Temperaturen unangreifbarer Schamottewaren bis zu Ende verfolgt wird, muß dahingestellt bleiben,

Neuere
Bestrebungen in
der Schamotte-
technik.

1) Vergl. Segers Gesammelte Schriften, S. 426.

um so mehr, als es nicht ausgeschlossen erscheint, daß man durch Ersatz der natürlichen Mineralien durch künstlich erzeugte feuerfeste Verbindungen bei der Herstellung von feuerbeständigen Waren zum selben Ziele noch eher wird gelangen können.

Natürliche und
künstliche
Magerungs-
mittel.

Zur Herstellung von Schamottewaren bedarf man neben einem hochfeuerfesten plastischen Ton noch eines nicht oder wenig schwindenden Versatz-(„Magerungs“-)Mittels. Schon vorher ist darauf hingewiesen worden, daß die Entstehung von Doppelsilikaten die Schmelzbarkeit der feuerfesten Steine herabmindert, man hilft sich dagegen, indem man einen Teil der Zusätze (Magerungsmittel) nicht in fein gemahlener, sondern in grobkörniger Form zugibt, wodurch die Angriffsfläche und daher auch die Reaktionsfähigkeit bedeutend herabgesetzt wird. Ein gutes Magerungsmittel muß neben der Hochfeuerfestigkeit auch dichte Struktur und mechanische Festigkeit aufweisen, und da nur wohlfeile Materialien angewendet werden können, so kommt neben der bereits gebrauchten Schamotte ausschließlich Quarz in Betracht, welcher auch in großen Mengen hierzu verwendet wird. Dagegen fehlt es an einem entsprechenden basischen Material. Wohl gibt es große Lagerstätten von dem sehr tonerdereichen Bauxit, der im wasserfreien Zustande bei oft etwa 80 % Tonerde nur etwa 17 % Kieselsäure nebst 3 % Eisenoxyd und Titansäure enthält, und von dem die Schamotteindustrie eine Zeit lang allgemein und auch jetzt noch namentlich in Frankreich ausgiebigen Gebrauch macht. Es stellte sich aber bald heraus, daß der Zusatz von Bauxit die Schwindung der feuerfesten Steine sowie deren Porosität erhöht, und er wird deshalb nach Möglichkeit vermieden. Diese ungünstige Nebenwirkung weist dagegen geschmolzener Bauxit und die künstlich erzeugte, geschmolzene Tonerde nicht auf, und es unterliegt keinem Zweifel, daß, wenn es gelingen sollte, das Schmelzen dieser Produkte wohlfeil auszuführen, die Tonwarenindustrie um einen sehr wichtigen Hilfsstoff reicher wird. Magnesit (kohlen saure Magnesia), der beim Brennen oft fast reine Magnesia mit nur 5 bis 10 % Verunreinigungen gibt, kommt ebenfalls an vielen Orten vor und wird zur Herstellung von den außerordentlich hoch feuerfesten Magnesitsteinen verwendet. Da jedoch die Herstellung der Steine namentlich in komplizierteren Formen schwierig ist und das Brennen der Steine bei sehr hoher, in der Schamotteindustrie sonst nicht üblicher Temperatur geschehen muß, so fallen die Herstellungskosten hoch aus. Eine allgemeine Verwendung finden die Magnesitsteine ¹⁾

1) Besondere Beliebtheit genießen dank ihrer Zuverlässigkeit die Fabrikate der Veitschen Magnesitwerke der Firma C. Spaeter in Koblenz.

in der Stahlindustrie und bei elektrischen Öfen. Als Magerungsmittel für Schamottewaren eignet sich Magnesit nicht, da er den Tonen gegenüber sich als starkes Flußmittel verhält (vergl. S. 40).

Von den in der Erdrinde in größeren Lagerstätten gefundenen Mineralien zeichnet sich besonders die Kohlenstoffmodifikation Graphit durch Unschmelzbarkeit aus, aber infolge der Verbrennbarkeit wird Graphit nur in wenigen Fällen als feuerfestes Baumaterial verwendet. Es ist jedoch gelungen, durch Herstellung von Verbindungen zwischen Silizium, Aluminium oder Bor mit Kohlenstoff verschiedene Karbide von sehr hoher Dichte und Schwerschmelzbarkeit zu erhalten.

Die verschiedenen, hier kurz angedeuteten Bestrebungen, neue Ausgangsmaterialien zur Herstellung besonders widerstandsfähiger feuerfester Waren künstlich zu erzeugen, können jedoch meistens mit gewöhnlichen Feuerungen nicht verwirklicht werden, und man greift daher zur Erhitzung mittels Elektrizität.

Die Magerungsmittel unterscheidet man, wie bereits gelegentlich erwähnt wurde, in basische und saure; zu den basischen gehören die Metalloxyde (Aluminiumoxyd, Eisenoxyd, Magnesia), zu den sauren vornehmlich Quarz. Die Verbindungen der Metalloide mit Kohlenstoff, wie Siliziumkarbid, Borkarbid usw., haben zwar keine ausgesprochen sauren Eigenschaften, da sie aber mit Sauerstoff bei sehr hohen Temperaturen zu Sauren werden (Kieselsäure, Borsäure), so erscheint es zweckmäßig, alle in Betracht kommenden Verbindungen der Metalloide untereinander zu sauren Magerungs- und Versatzmitteln zuzurechnen.

Saure und
basische
Magerungs-
mittel.

Seit langer Zeit weiß man, daß durch Versatz der keramischen Massen mit viel Tonerde die Feuerfestigkeit der erhaltenen Produkte bedeutend erhöht wird. In reinem oder beinahe reinem Zustande kommt die Tonerde (Al_2O_3) im Erdinnern nur selten vor. Rubin, Saphir, Topas, Amethyst sind verschiedene Modifikationen kristallisierter Tonerde, welche mit geringen Mengen anderer Metalloxyde vermennt ist. Die unreinen, eisenoxydhaltigen undurchsichtigen Kristalle, die meistens von bräunlicher Farbe sind, heißen Korund. Die als kristallinische Felsmasse oder in losen Stücken vorkommende noch mehr Eisenoxyd und Kieselsäure enthaltende natürliche Tonerde nennt man Schmirgel. Das spezifische Gewicht des Korunds ist 3,6 bis 3,9, das des Schmirgels 3,74 bis 4,11 und ihre Härte ist nur wenig geringer als die des Diamants.

Bauxit und
Tonerde.

Bauxit, welcher jetzt das ausschließliche Ausgangsmaterial zur Herstellung von Aluminiummetall bildet, ist ein Tonerdehydrat, das mit Eisenoxyd, Kieselsäure und Titansäure stark vermennt ist. Zur

Kennzeichnung der Zusammensetzung des Bauxits seien hier einige Analysen von beiden typischen Bauxitvarietäten mitgeteilt:

	Irischer	Weißer Bauxit		Roter Bauxit
		Amerikanischer		Französischer
Tonerde	56	48,7	59	60
Eisenoxyd	3	2,1	2	22
Titansäure	3		4	3
Kieselsäure	12	32,2	3	3
Wasser und andere flüchtige Bestandteile }	26	16	32	12

Mächtige Lagerstätten dieser Gesteinsart finden sich in Sudfrankreich (Bouche du Rhône, Herault, Var), in Irland und an vielen Orten der Vereinigten Staaten von Nordamerika (Alabama, Georgia, Arkansas usw.). Zahlreiche, wenn auch weniger reiche Bauxitlager sind auch in Österreich bekannt. Die Extraktion (Tagebau) ist leicht, und eine Tonne des besten weißen oder roten Bauxits kostet an Ort und Stelle der Gewinnung bzw. an der Verlade- oder Verschiffungsstation etwa 12 bis 15 Mk.

Im Feuer schwindet die Tonerde recht erheblich. Selbst sehr stark ausgeglühte Tonerde mit dem spezifischen Gewicht 3,75 schwindet bei andauernder Weißglut, wobei das spezifische Gewicht bis auf 3,9 steigt. Infolge dieser hohen Schwindung ist die direkte Verwendung von Bauxit als Versatzmittel, wie bereits ausgeführt (S. 130), mit erheblichen Nachteilen verknüpft. Einige Angaben über die Herstellung und Verwendbarkeit von Bauxitsteinen findet man in Stahl und Eisen (1908, S. 1415). Je ärmer das Mineral an Kieselsäure und je reicher es an Tonerde ist, desto geeigneter ist es, als feuerfestes Material verwendet zu werden. Die Bauxitsteine sollen sich für die Drehofen der Zementindustrie und in Blei- und Kupferhütten gut bewährt haben.

Beim Glühen des Bauxits mit Soda oder bei Behandlung desselben mit Natronlauge erhält man das wasserlösliche Natriumaluminat¹⁾. Dieses scheidet bei andauerndem Rühren der Laugen oder bei Behandlung mit Kohlensäuregas die Tonerde in Form eines amorphen (mitunter auch kristallinen) schneeweißen Pulvers aus. Etwas kostspieliger dürfte sich die Darstellung der Tonerde aus

1) Vergl. hierüber Konr. Jurisch, Die Fabrikation der schwefelsauren Tonerde, Berlin 1894; J. Bronn, Die Fabrikation der Tonerde, Zeitschr. f. angew. Chemie 1901, S. 844.

Bauxit durch Behandlung desselben mit starker Schwefelsäure und Zersetzung der Aluminiumsulfatlaugen durch Soda stellen¹⁾).

Selbst im heftigsten Ofenfeuer ist die reine Tonerde völlig unschmelzbar. In der Knallgasflamme schmilzt sie zu einem klaren Glase, das beim Erkalten kristallinisch wird. Im dichten Zustande ist die Tonerde in hohem Grade unempfindlich gegen chemische Angriffe und selbst schroffen Temperaturwechsel. Trotz dieser wertvollen Eigenschaften kann die Anwendung der reinen, scharf kalzinierten Tonerde infolge ihrer hohen Herstellungskosten (etwa 150 Mk. für 1000 kg) zum Versatz von keramischen Massen gar nicht in Betracht gezogen werden. Aus demselben Grunde scheint auch natürlicher Korund, der sich am Gewinnungsorte auf 120 Mk. die Tonne stellt, bei der Herstellung hoch feuerfester Produkte nie benutzt worden zu sein.

Seit einigen Jahren erhält man geschmolzene Tonerde in erheblichen Mengen als Abfallprodukt bei dem aluminothermischen Schweißverfahren von H. Goldschmidt. Dieses besteht bekanntlich in der Verbrennung eines Gemisches von Aluminiumkornern und Eisenoxyd, wobei das letztere zu metallischem Eisen reduziert und das Aluminium zu Tonerde oxydiert wird. Die bei dieser Verbrennung entwickelte Hitze ist so groß, daß die entstehende Tonerde ganz dünnflüssig ist.

Als vor etwa einem Jahrzehnt die junge Kalziumkarbidindustrie eine heftige Krisis durchmachte und infolge des ungenügenden Absatzes des Kalziumkarbids viele Öfen und sogar ganze Anlagen stillgesetzt werden mußten, fehlte es nicht an Versuchen, durch direktes Schmelzen von tonerdereichen Mineralien, wie z. B. Schmirgel und namentlich Bauxit im elektrischen Ofen künstlichen Korund und die noch härtere kristallisierte Tonerde zu erhalten, um vielleicht auf diese Weise dem Arbeitsmangel abzuhelpfen.

Eine recht anschauliche Schilderung über das Schmelzen von Bauxit im elektrischen Ofen gab W. H. Gintl²⁾. Die von ihm beschriebenen Versuche wurden in einer in der Nähe von Prag gelegenen Fabrik unternommen und bezweckten die Herstellung eines als Schleifmittel verwendbaren Produktes von besonderer Härte.

Es wurden verschiedene Sorten von Bauxit, teils französischen, teils österreichischen Ursprungs, zum Teil im Gemenge miteinander

1) Geschwind, L'Industrie du sulfate de l'aluminium, des aluns etc, Paris 1899.

2) Zeitschr. f. angew. Chemie 1901, S. 1173.

Schmelzen von
Bauxit

verwendet und hierbei so verfahren, daß der gemahlene Bauxit mit einem geringen Prozentsatz von Kokslein oder Kohle und Kochsalz mitunter auch mit Sägemehl gemengt, in einem elektrischen Ofen nach Fig. 71 geschmolzen. Die Sohle und die Seitenwände des Ofens bestanden aus Kohlenplatten, die mittels Eisenbändern zusammengehalten wurden und so die eine Elektrode bildeten¹⁾. Als zweite Elektrode diente ein mit einer Führung versehener, heb- und senkbarer Block aus Elektrodenkohle. Es wurde

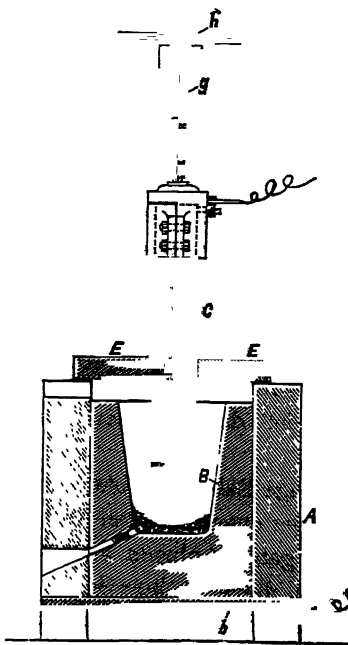


Fig. 71. Elektrischer Schachtofen.

mit Wechselstrom gearbeitet, indem man die beiden Elektroden einander zunächst so weit genähert hatte, daß ein kräftiger Lichtbogen auftrat, woraufhin man das Gemisch partienweise in den Ofenraum eintrug. In dem Maße, als das Rohgemenge niederschmolz, wurde die bewegliche Elektrode allmählich mehr und mehr gehoben, während man nach und nach immer frisches Gemenge zugab, bis der Ofenraum etwa zur Hälfte mit geschmolzener Masse gefüllt war, deren Menge etwa 100 kg betragen mochte.

Während des Niederschmelzens schwankte der Stromaufwand um etwa 1000 Amp. bei etwa 100 Volt Spannung herum. Nach

dem Niederschmelzen wurde die flüssige Masse durch die Abstichöffnung abgelassen, wobei zunächst dünnflüssige Metallmassen und weiter die etwas zähflüssige Schmelze abfließen, welche nach dem Erkalten einen Block von mikrokristallinischem Gefüge und grauer bis rötlich braungrauer Farbe bildete. In den Hohlräumen der Blöcke fanden sich fast jedesmal größere, oft mehrere Zentimeter lange und bis 2 cm und darüber breite Kristalle, die in verschiedenen Farben (Grau, Braun, Blau) schillerten. Bei Verwendung von stark eisenhaltigem französischem Bauxit wurden blau durchscheinende,

1) Der hier abgebildete Ofen stellt die wichtigste Type all der elektrischen Öfen dar, bei welchen der Strom durch das Schmelzgut selbst durchgeht.

zum Teil durchsichtige Kristalle erhalten. Sowohl die Kristallform, wie auch die Dichte all der Kristalle erwiesen sich nach Untersuchungen von Pelikan als denen von Korund fast völlig gleichkommend.

Die chemische Zusammensetzung der Kristalle zeigte sich als wesentlich verschieden von der des eingeschmolzenen Bauxits. So z. B. wiesen die aus einem Gemische von steierischem und französischem Bauxit erhaltenen bräunlichen Kristalle folgende Verschiedenheiten in ihrer Zusammensetzung auf:

	Ausgeglühtes Bauxitgemisch	Bauxitgemisch nach dem Ausschmelzen von Eisen	Bräunliche Kristalle
Tonerde	77,13	87,68	81,88
Eisenoxyd	12,71	0,79	0,79
Manganoxydul	—	—	0,50
Kalziumoxyd	—	—	1,83
Magnesiumoxyd	—	—	0,35
Natriumoxyd	—	—	2,07
Titansäure	1,61	1,83	0,65
Kieselsäure	8,52	9,69	12,28
	99,97		100,35

Ähnlich verhält es sich bei Herstellung der blau durchscheinenden Kristalle aus dem französischen Bauxit:

	Ausgeglühter Bauxit		Blau durchscheinende Kristalle	
		Nach Aus- schmelzen eines Teiles von Eisen	I	II
Tonerde	71,64	89,88	66,35	70,18
Eisenoxyd	26,56	6,33	8,36	6,33
Manganoxydul	—	—	0,27	0,28
Kalziumoxyd	—	—	1,67	1,25
Magnesiumoxyd	—	—	0,64	0,58
Natriumoxyd	—	—	5,02	4,95
Titansäure	0,57	0,71	0,50	0,59
Kieselsäure	1,16	1,45	16,79	16,02
	99,93		99,60	100,18

Der Mehrgehalt der Kristalle an Kieselsäure, sowie der Gehalt an Bestandteilen, die im Bauxit nicht enthalten waren, läßt sich nur auf die Koksasche und das Kochsalz zurückführen. Die beim Ablassen zuerst abfließende dünnflüssige Metallmasse erstarrt zu einem, dem grauen Roheisen ähnlich aussehenden Metalle von in der Regel feinkörnigem Bruche. Das Metall ist überaus spröde und hart, stark magnetisch und hat das spezifische Gewicht 6,75 bis 6,78 bei 15 ° C. Im Durchschnitt enthielt es:

Eisen	83,15
Mangan	0,17
Aluminium	0,35
Kohlenstoff	1,44
Silizium	13,94
Phosphor	0,54
Schwefel	Spuren
	<hr/>
	99,83

Die nach der Metallmasse folgende zähflüssige Bauxitschmelze enthielt nach dem Erkalten zahlreiche erbsen- bis haselnußgroße Einschlüsse von ausgesprochen metallischem Charakter von messinggelb- bis grüngefärbter kristallinischer Oberfläche und grobkörnigem, fast weißem, metallisch glänzendem Bruch.

Diese Einschlüsse enthielten im Durchschnitt:

Aluminium	61,38 %
Eisen	12,76 „
Silizium	18,80 „
Kohlenstoff	1,79 „
Titan	1,85 „
Natrium	1,68 „
Kalzium	0,76 „
Kupfer	0,46 „
Schwefel	0,59 „
Stickstoff	Spuren.

Die Entstehung von Aluminium erklärt Gintl durch die besonders hohe Temperatur, die an der Berührungsstelle zwischen der hängenden Kohlenelektrode und der Bauxitschmelze geherrscht haben muß.

Zur Ausschmelzung von Korund aus stark eisenhaltigem Schmirgel konstruierte Haßlacher (D. R. P. 85021) einen elektrischen Ofen, der ununterbrochenen Betrieb gestattet. In der Sohle des Ofens (Fig. 72) ist eine Abstichöffnung angebracht, die vor der Inbetriebsetzung des Ofens mit einer Glasplatte bedeckt wird.

Die Beschickung besteht aus Schmirgel, vermengt mit einer seinem Eisenoxydgehalte entsprechenden Kohlenmenge. Nachdem aus dem Eisenoxyd sich metallisches Eisen gebildet und eine größere Menge geschmolzenen Korundes sich angesammelt hat, schmilzt die Glasplatte durch und die Schmelze läuft aus. Der Ofen wird dann mit frischem Material beschickt, wobei ein Teil der Schmelze

im Abstichloch erstarrt und den Ofen abschließt, bis in demselben ein genügender Vorrat geschmolzener Masse sich wieder angesammelt hat, um auch den in der Öffnung erstarrten Korundpfropfen zu erweichen. In der erkalteten Korundmasse findet sich das Eisen als Metall in Klumpen verteilt und kann beim Zerkleinern und Durchsieben leicht ausgeschieden werden.

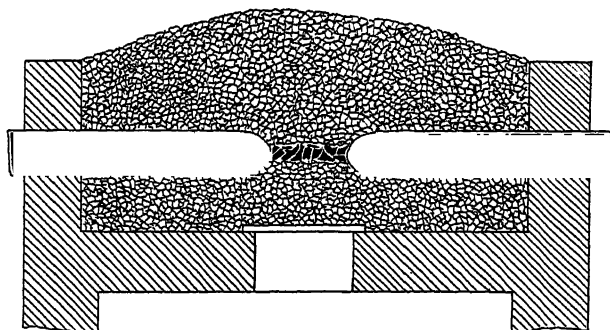


Fig. 72 Korundofen von Haslacher

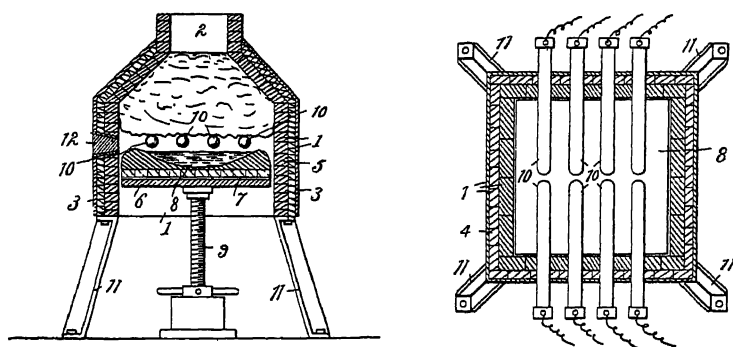


Fig. 73 Bauxitofen von Mills.

Einen anderen Ofen zur Herstellung von Korund aus Bauxit beschrieb Mills (Engl. Pat. 16529 von 1900). Im unteren Teil des Ofens (Fig. 73) ist durch eine Reihe von Elektroden eine Lichtbogenzone ausgebildet, in der der Bauxit ganz dünnflüssig wird. Je nachdem die herausfließende Schmelze langsam oder rasch, unter Umrühren oder in Ruhe abkühlt, entsteht ein mehr oder weniger grobkristallinisches Produkt, das alle nützlichen Eigenschaften des Korundes sogar in erhöhtem Maße besitzen soll. Der Ofen kann mit rohem Bauxit beschickt werden, da in dem oberen Teil des Ofens genügend Abhitze vorhanden ist, um die Entwässerung des Bauxits zu bewirken.

Um ganz reine Tonerde im elektrischen Ofen herzustellen, schlug Hall eine Reihe von Verfahren vor (Amerik. Pat. 677207 bis 677209, 678732¹⁾), die darin bestehen, daß Bauxit mit verschiedenen Zuschlägen (Kohle, Flußspat, Kalk, Kryolith, Soda, Aluminiumlegierungen und a. m.) in der Weise vermennt wird, daß beim Erhitzen im elektrischen Ofen eine dünnflüssige, Aluminium, Eisen, Silizium und Titan enthaltende Legierung abfließt, und daß der weitaus größte Teil der im Bauxit enthaltenen Tonerde in reinem und kristallisiertem Zustande zurückbleibt.

Er benutzt hierzu einen Tiegelofen, der am Boden ein Abstichloch ausgespart enthält und bei dem die aus Kohle aufgebauten Wände als Elektrode dienen; als zweite Elektrode dient ein eingehängter Kohlenblock. Mit 25 Volt \times 1500 Amp. werden auf einmal 10 bis 15 kg Bauxit in 1½ Stunden geschmolzen. Die dünnflüssige Legierung scheidet sich unterhalb der Tonerde ab und kann nach Zerkleinerung als Bronzefarbe verwertet werden. Der Ofen für die industrielle Ausführung hat 76 cm Durchmesser und 90 cm Tiefe. Der Querschnitt der hineinhängenden, aus mehreren Stücken bestehenden Elektrode beträgt etwa 30 \times 30 cm. Man arbeitet mit 50 bis 60 Volt und 7000 Amp. Das Schmelzgut wird allmählich eingetragen und die bewegliche Elektrode stets so weit gehoben, daß ihr unteres Ende sich gerade an der Oberfläche der geschmolzenen Masse befindet. In 4 bis 5 Stunden werden 1000 kg Mischung geschmolzen und gereinigt. Man stellt dann ab und läßt abkühlen.

In einem späteren Patente (Amerik. Pat. 706553) gibt Hall²⁾ ein Verfahren zur Herstellung reiner Tonerde an, bei dem statt Elektroden aus Kohle solche aus einem Gemisch von Bauxit mit Kohle in das Bad eingehängt werden. Als untere Elektrode dient eine Kohlenplatte von etwa 2 m Durchmesser, auf der das zu schmelzende Gut in einer Schicht von etwa 35 cm Dicke sich befindet. Der Strombedarf stellt sich auf 7200 Amp. bei 50 Volt. Das Charakteristische am Ofen ist der ringförmige Zwischenraum zwischen der Ofenausfütterung und dem äußeren Blechmantel. Das zu verarbeitende Gestein wird mit Kohle, nötigenfalls mit Eisen versetzt und in diesem

1) Vergl. außerdem D. R. P. 135553; Franz. Pat. 318174; Engl. Pat. 14572 von 1900, sowie die Referate hierüber von W Borchers in den Jahrbüchern der Elektrochemie, Bd. 8, S. 442 und Bd. 9, S. 466, der sich zu diesen Verfahren von Hall ziemlich skeptisch stellt.

2) Vergl. auch Engl. Pat 2260 von 1902; D. R. P. 143901; Chem. Centralbl. 1903, Bd. 2, S. 776, wo die schwer verständliche Patentschrift klar wiedergegeben ist; Jahrbuch der Elektrochemie für 1903, Bd. 10, S. 596.

Zwischenraume vorgewärmt. Die Abhitze des Ofens soll nämlich ausreichend sein, um wenigstens einen Teil der Verunreinigungen des um den Ofen befindlichen Rohgemenges zu reduzieren. Das so vorbehandelte Material wird dann zerkleinert und in den Ofen zugegeben, währenddem ein neues Gemenge von frischem Bauxit mit Kohle in dem ringförmigen Zwischenraume vorgewärmt wird.

Auf der panamerikanischen Ausstellung von 1901 in Buffalo war ein großer Block von künstlichem, im elektrischen Ofen erhaltenem Korund zu sehen, den die Ampère-Electrochemical-

Alundum

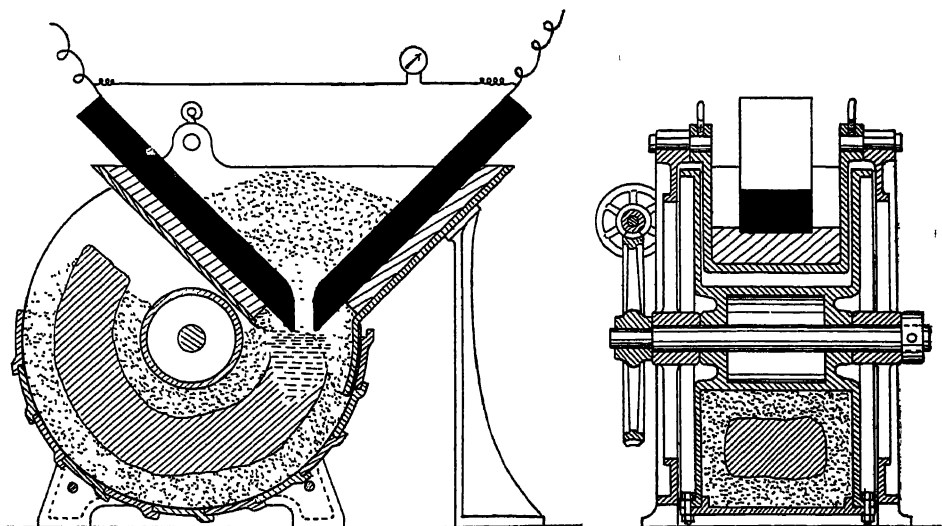


Fig. 74. Horrys rotierender Ofen

Company ausgestellt hat. Das Verfahren stammt von B. Jacobs und wird jetzt von der Norton Emery Wheel Co.¹⁾ ausgeübt. Ursprünglich (1901) wurde der Bauxit in einem Ofen mit Kohlenfeuerung geröstet und dann in einem rotierenden Ofen von Horry (Fig. 74) mit einem Kraftverbrauch von 500 P. S. geschmolzen²⁾. Die Schmelze, die in dem Ofen einen wurstförmigen Block bildete, ließ man während 3 bis 4 Stunden im Ofen selbst etwas abkühlen. Wenn die Schmelze gut verlief, so sah das Produkt hornig oder

1) Der Sitz der Gesellschaft ist in Worcester, Mass., U. S. A.

2) Der Ofen von Horry, der in Amerika vielfach für die Kalziumkarbidherstellung angewendet wird, ist von F. Haber in der Z. f. Elektroch. 1903, S. 359, näher beschrieben worden; vergl. außerdem: Die elektrischen Ofen, von W. Borchers (Wilhelm Knapp, Halle a. S. 1907), dem die obige Abbildung des Ofens von Horry entnommen ist.

kieselig aus. Zuweilen fand man in der Schmelze Saphire und Rubine (allerdings sehr kleine!). Später ersetzte man den Horrerschen Ofen durch einen gewöhnlichen Schachtofen, dessen Wandungen aus einem doppelwandigen, wassergekühlten Blechmantel bestehen (Amerik. Pat. 775654 von Higgins). Das erschmolzene Produkt wird zum Teil unter dem Namen Alundum¹⁾ in den Handel gebracht, zum größeren Teil aber sofort weiter zu Schleifgeräten verarbeitet. Im Jahre 1904 wurden etwa 2000 Tonnen Alundum hergestellt, und der Verkaufspreis betrug etwa 7 Cent pro Pfund (d. h. etwa 65 Pfennig für 1 kg). Der nutzbare Wirkungsgrad der den Öfen zugeführten Energie beim Schmelzen von Bauxit nach dem Verfahren von Jacobs schätzte J. W. Richards²⁾ auf 74 0/0.

F. Haber³⁾ besichtigte diese Fabrik. Das von ihm herübergebrachte Produkt erinnert in vielen Beziehungen an die von Gintl (vergl. S. 135) erhaltenen Tonerdekristalle. Nach späteren Privatmitteilungen der Firma wird das Alundum im eigenen Betriebe am Niagarafall aus den tonerreichsten Sorten des in Georgia und Arkansas vorkommenden Bauxits im elektrischen Ofen erschmolzen, wobei die verschiedenen, in dieser Gesteinsart enthaltenen Beimengungen von der Tonerde getrennt werden. Die Temperatur im Ofen wird auf 6000 bis 7000 ° F. geschätzt (was der Temperatur des Lichtbogens gleichkommen würde). Die Versuche, Alundum auch zur Herstellung von feuerfesten Waren zu benutzen, ergaben recht befriedigende Resultate. Die Nachfrage nach Schleifsteinen aus Alundum war jedoch so groß, daß der Betrieb schon diese allein kaum befriedigen konnte. Die dem Verfasser zugesandten Muster enthielten neben einem Stück eines stark glänzenden graubraunen, geschmolzen gewesenen Gesteins von außerordentlich dichter Struktur ein Kristallgebilde, bestehend aus vielen, bis 10 mm langen, etwas schmaleren und ganz dünnen zusammengeklebten blauen Blättchen von sehr starkem Glanz und fast schwarzer Farbe. Die Härte dieser Kristalle ist jedenfalls größer als die des geschmolzenen Quarzes, der geritzt werden konnte.

Electrit

Zu derselben Kategorie von Produkten wie Alundum gehört auch „Electrit“, der von der „Fabrique Carborundum La Bathie“ in Savoyen durch Schmelzen von tonerdehaltigen Mineralien mit verschiedenen Zusätzen im elektrischen Ofen erhalten wird.

1) J. W. Richards, *Electrochemical Industry* 1902, S. 15; J. Pratt, *Electrical World and Ing.* 1905, S. 170.

2) *Transact. Americ. Electrochemical Soc.* 1902, Bd. 2, S. 51.

3) *Z. f. Elektroch.* 1903, Bd. 9, S. 381.

Eine pyramidenartige Kristalldruse von Electrit, welche die Firma dem Verfasser sandte, zeigte eine Seitenlänge von etwa 10 cm und bestand aus durchsichtigen, orange gefärbten, zusammengewachsenen dünnen Blättchen mit zahlreichen altgolden bis intensiv grün gefärbten Umrissen von Kristallfiguren. Einzelne losgeloste Plättchen waren trotz ihrer geringen Stärke (weniger als 1 mm) außerordentlich bruchfest. Geschmolzener Quarz ließ sich zwar durch die Electritblättchen ritzen, aber doch nicht so leicht, wie mit Alundum. Electrit wird zu Schleifsteinen, Schmirgelpapier und Schleifpulver verarbeitet.

Seit mehreren Jahren beschäftigt sich M. Buchner (in der Firma C. F. Boehringer & Söhne, Waldhof) mit der Verbesserung der Ton- und Schamottewaren durch Einführung von Korund in die betreffenden Massen, und er gelangte hierbei zu recht überraschenden Resultaten.

Verwendung
von Korund zur
Herstellung
keramischer
Erzeugnisse.

Das Buchnersche Verfahren zur Herstellung von Geräten für die chemische Industrie (D. R. P. 158336¹⁾) beruht auf der Wahrnehmung, daß die unter Zusatz von Korund hergestellten Tonwaren auch bei wiederholtem Brennen ihr Volumen nicht verändern. Ferner kommt dem Korund die Eigentümlichkeit zu, nicht nur selbst gegen schroffen Temperaturwechsel und gegen Angriffe von Säuren und Alkalien unempfindlich zu sein, sondern auch keramischen Massen, welcher Korund in größeren Mengen enthalten, diese Unempfindlichkeit in fast gleich hohem Maße zu verleihen. Dies kommt besonders den Geräten und Apparaten für die chemische Industrie zugute, da sie möglichst unempfindlich gegen Temperaturwechsel und Angriffe von Säuren und Alkalien sein müssen. Die Verarbeitung von Korund zur Herstellung solcher Waren geschieht in ähnlicher Weise, wie bei der Anwendung von Schamotte- oder Quarzkörnern, indem der Korund dem tonigen Bindemittel in der erforderlichen Menge und in geeigneter Korngröße zugesetzt wird. Die Schwindung dieser Massen ist äußerst gering und erreicht bereits bei verhältnismäßig niedriger Temperatur ihr Maximum. Nach dem Erhitzen über die Schwindungstemperatur treten keine weiteren Volumenveränderungen ein; auch ist wiederholtes Erhitzen ohne Einfluß auf das Volumen dieser Körper.

Einen guten, festen, rissefreien Scherben, der sich insbesondere für die Herstellung von Gegenständen eignet, welche große Tempe-

1) Auf den Namen: Deutsche Steinzeugwarenfabrik für Kanalisation und chemische Industrie in Friedrichsfelde; Amerik. Pat. 700673.

raturunterschiede auszuhalten haben, wie z. B. Kühlschlangen, Umkleidungsrohre für Pyrometer, erhält man nach folgender Vorschrift: 84 Gewichtsteile Korundkörner werden, nachdem sie ein Sieb von 60 Maschen pro Quadratcentimeter passiert haben, mit 37 Gewichtsteilen Ton, welchem 9 Gewichtsteile Korundmehl zugesetzt wurden, unter entsprechendem Wasserzusätze gut vermenzt und die entstehende plastische Masse geformt. Die getrockneten Formstücke werden alsdann in bekannter Weise gebrannt und durch „Salzen“, oder in einer sonst bei Tonwaren üblichen Weise mit Glasur versehen. Für elektrolytische Diaphragmen eignet sich folgende Mischung: 1 Gewichtsteil gemahlenen Korundes wird mit 1 Gewichtsteil geschlämmten Kaolins verarbeitet, wie oben angegeben, und gebrannt. Die so hergestellten Diaphragmen sind nach Angabe der Patentschrift außerordentlich porös, aber trotzdem wenig flüssigkeitsdurchlässig, sie sind sehr säurebeständig, verhältnismäßig gut alkali-beständig, bieten dem Durchgange des elektrischen Stromes trotz ihrer beträchtlichen Dichte einen nur geringen Diaphragmenwiderstand, werden von Stahl nur schwer geritzt und sind gegen mechanische Einwirkungen verhältnismäßig wenig empfindlich.

Der Patentanspruch lautet: „Verfahren zur Herstellung von Geräten für die chemische Industrie, gekennzeichnet durch die Verwendung einer Masse aus Korund und einem tonigen Bindemittel, welche nach der Formgebung in der üblichen Weise gebrannt und, falls erforderlich, glasiert wird.“

Diese Angaben vervollständigte Buchner¹⁾ noch wie folgt: „Zur Fabrikation der Korundmasse soll zweckmäßig ein reiner Korund verwendet werden. Diese Bedingung erfüllt in hohem Maße das künstlich hergestellte Produkt, der bei dem Thermitverfahren (vergl. S. 133) abfallende Korund, weil er nahezu reines Aluminiumoxyd ist, also nur geringe Verunreinigungen von dem Metall enthält, dessen Oxyd mittels des Aluminiums reduziert wurde. Infolge seiner Entstehung bei einer Temperatur von nahezu 3000° ist er ein sehr dichter, hochfeuerfester Stoff, er ist von außerordentlicher Säurebeständigkeit.“

„Wird er in geringen oder größeren Mengen zu keramischen Massen, wie Ton oder Kaolin, zugesetzt, so überträgt er merkwürdigerweise seine Eigenschaften auf diese, mit welchen er sich zu Mischungen verarbeiten und brennen läßt, die sich wie homogene Massen verhalten.“

1) Zeitschr. f. angew. Chemie 1904, Bd. 17, S. 985.

„Diese Massen sind nach dem Brennen säurefest und gegenüber schroffem Temperaturwechsel beständig. Ich habe z. B. eine Korundmischung unter Beobachtung aller Vorsichtsmaßregeln drei Monate hindurch in einem Platinbecher in konzentrierter Schwefelsäure bei etwa 260° erhitzt; die Abnahme des Scherbens betrug nach dieser Zeit $0,1\%$, zumeist bestehend aus etwas Chrom und geringem Anteile von Aluminium. Diesen Versuch wiederholte ich in siedender konzentrierter Salzsäure, deren Konzentration aufrecht erhalten wurde, mit gleich gutem Erfolge, und ebenso erhitze ich wochenlang in Schalen aus Korundmassen heiße Salz-, Schwefel- und Salpetersäure auf den Siedepunkt, ohne daß eine merkliche Gewichtsabnahme dieser Gefäße eingetreten wäre.“

„Ich werde Ihnen rasch einige Versuche zeigen; zunächst werde ich die plötzliche Wirkung der starken inneren Spannungen an einem zu erhitzenden Porzellanteller vorführen. Ich erwärme ihn, und kaum ist er warm, so ist er bereits gesprungen, wie Sie hören. Nun möchte ich zum Beweise für ihre Widerstandsfähigkeit gegen schroffe Temperaturwechsel die Korundmasse einer so brutalen Behandlung unterziehen, wie sie der vorsichtige Betriebsleiter seinen Hilfsmitteln nie zuteil werden läßt. Ich werde eine Schale in der Stichflamme einer Benzinlotlampe erhitzen und durch Übergießen mit Wasser rasch abkühlen. Die Schale ist jetzt rotglühend und hat der raschen Abkühlung so gut Widerstand geleistet, daß ich noch Blei darin schmelzen werde. Das Blei ist geschmolzen, ich gieße es auf eine Korundplatte aus, und Sie sehen, daß sie nicht beschädigt wird, wie der vorhin beim Erwärmen sofort zersprungene Teller. Aber die Korundmasse läßt sich auf noch viel höhere Temperaturen, als die durch die Rotglut angezeigten plötzlich erhitzen und abkühlen, wie ich an der im Knallgasgebläse auf Weißglut zu erhitzenden Korundschale demonstrieren werde. Sie bemerken zunächst, daß die Korundschale, die sich jetzt in dem Zustande der Weißglut befindet, noch völlig ungeschmolzen ist. Ich begieße sie reichlich mit Wasser; wie Sie sich überzeugen können, ist die Schale noch völlig intakt. Die Eigenschaft der Korundmasse, höchsten Hitzegraden und schroffen Temperaturwechseln zu widerstehen, beruht darauf, daß sie volumbeständig ist, d. h. sie schwindet nicht, wie gebrannter Ton, der beim Brennen eine Schwindung von 10 bis 12% zeigt. Diese Schwindung läßt sich durch Zusatz von Korund bis auf 0% herabdrücken.“

Es gelang, Korundmassen herzustellen, die nicht nur in bezug auf die Schwindungsverhältnisse, sondern auch in bezug auf Zug-

festigkeit und federnde Dehnung dem Steinzeug durchaus überlegen sind. So ergab die Untersuchung einer Masse M_4 durch die Materialprüfungsanstalt in Stuttgart folgende Werte:

	Masse M_4 von Buchner	gewohnl. Steinzeug
Zugfestigkeit in kg/qcm	61,2	44
Gesamte Dehnung in Prozenten . . .	0,0149	0,0097
Bleibende " " " . . .	0,0019	0,0002
Federnde " " " . . .	0,012	0,0095

Die federnde Dehnung ist aber von maßgebendem Einfluß auf die Konstruktion von Hohlgefäßen, welche einem Druck ausgesetzt werden sollen. Je elastischer ein Material ist, mit um so größerer Sicherheit ist es verwendbar. Was die Druckfestigkeit der Korundmassen anbelangt, so zeigte z. B. eine Masse M_3 eine durchschnittliche Druckfestigkeit von 1725 bis 2685 kg pro Quadratcentimeter. Zum Vergleich sei erwähnt, daß die Druckfestigkeit beim Zementbeton 250 kg beträgt, beim Granit 800 bis 1000 kg, beim Basalt 1000 bis 3000 kg, beim Steinzeug hingegen 800 bis 1300 kg auf 1 qcm. Da man aus Korundmassen auch poröse Scherben herstellen kann, so lassen sich dieselben für elektrolytische Zwecke bestens verwenden. Die aus Korundmassen hergestellten Diaphragmen sind ziemlich hellklingende, außerordentlich poröse Körper, die dem elektrischen Strome einen minimalen Widerstand entgegensetzen. Die Korunddiaphragmen weisen eine hohe mechanische Festigkeit auf und bleiben selbst nach jahrelanger Verwendung in verdünnten und heißen Säuren noch gebrauchsfähig.

In dem ebenfalls von M. Buchner herrührenden D. R. P. 160780¹⁾: „Verfahren zur Herstellung von Tonwaren aller Art“, wird darauf hingewiesen, daß das geschmolzene Aluminiumoxyd dem natürlichen Korund nicht nur gleichkommt, sondern die dem letzteren zukommenden günstigen Eigenschaften noch in höherem Maße zu eigen hat. Die Schwindung der damit hergestellten Geräte ist noch geringer, ihre Widerstandsfähigkeit noch größer. Es hänge dies wahrscheinlich damit zusammen, daß das künstlich hergestellte, geschmolzene Aluminiumoxyd, wie z. B. das Abfallprodukt des Thermitverfahrens, im Gegensatz zum natürlichen Korund gänzlich wasserfrei ist und außerdem chemisch gebundene metallische Verunreinigungen nicht enthält. Laut Patentanspruch ist dies Verfahren gekennzeichnet: „durch die Verwendung von künstlich hergestelltem,

1) Auf den Namen Boehringer & Söhne in Mannheim-Waldhof.

geschmolzenem Aluminiumoxyd, welches mit tonigen Bindemitteln gemengt, geformt und gebrannt wird“

Wie aus Privatmitteilungen seitens Herrn Dr. Buchner an den Verfasser zu schließen ist, sind die Steine aus geschmolzenem Aluminiumoxyd auf jeden Fall das Beste, was man bis jetzt gegenüber trockener hoher Temperatur besitzt, da sie bei den in der Technik vorkommenden, durch Verbrennungswärme erzeugten Temperaturen nicht zum Schmelzen gebracht werden können. Es lassen sich aus dem geschmolzenen Aluminiumoxyd alle Arten feuerfester Produkte herstellen, sowohl kompakte, als mit Hohlräumen versehene, insbesondere Röhren, Muffeln, Schmelztiegel usw. Auch Muffeln aus Aluminiumoxyd für elektrische Beheizung mittels kleinstückiger Widerstandsmasse (Kohlengrieß) haben sich sehr gut bewährt und sind den Schamottemuffeln schon dadurch überlegen, daß ihr Schmelzpunkt weit höher liegt, etwa bei 1800°. Die Wände der elektrischen Kohlengrießöfen werden mit einer Masse aus geschmolzenem Aluminiumoxyd, etwas Zement und Kaolin ausgeschmiert, und diese Auskleidung hat vor der Verwendung gebrannter Platten den Vorzug, daß man die Masse einfach aufträgt, trocknen läßt, und daß das Brennen dank der von dem Kohlengrieß erzeugten Wärme nach und nach von selbst stattfindet. Die Bestrebungen Buchners gehen dahin, das chemisch außerordentlich widerstandsfähige und durch edle physikalische Eigenschaften ausgezeichnete geschmolzene Aluminiumoxyd an die Stelle der natürlichen edlen Tone, die den Nachteil haben, daß sie einen niedrigeren Schmelzpunkt besitzen, großen Volumveränderungen beim Brande unterliegen, gegen schroffe Temperaturwechsel nicht sehr beständig und durch chemische Agenzien leicht angreifbar sind, in allen jenen Fällen, wo Zweck und ein höherer Anlagepreis es zuläßt, zu setzen. In ihrem Verhalten gegen geschmolzene und gesinterte Massen (Schlacken, Gläser, Zement) hat sich die keramische Masse aus geschmolzenem Aluminiumoxyd in vielen Fällen sehr gut bewährt. Das hängt jedoch von der jeweiligen Zusammensetzung des betreffenden Ofengutes ab, und Buchner selbst warnt davor, diese chemische Widerstandsfähigkeit zu verallgemeinern.

Das D. R. P. 188499¹⁾ behandelt die Herstellung künstlicher Massen und Gegenstände aus künstlichem Korund oder geschmolzenem Aluminiumoxyd und Zement, Kalk, Gips oder anderen mit Wasser erhärtenden Bindemitteln. Das Wesentliche des Verfahrens besteht

Verarbeitung
und Bindung
des Korundes.

1) Engl. Pat 15539 von 1906.

darin, daß die aus solchen Gemengen geformten oder gegossenen Gegenstände bei sehr hoher Temperatur gebrannt werden, wodurch sie gegen Säuren, wie auch gegen schmelzende Alkalien und alkalische Lösungen jeglicher Konzentration außerordentlich widerstandsfähig werden. Als Beispiele führt die Patentschrift folgende Gemengesätze an:

I. Portlandzement als Bindemittel:

		Körnung	
40	Gewichtsteile	natürlichen Korund,	20 Brennen bei
40	"	"	180 } Segerkegel
20	"	Portlandzement	6—8.

oder

20	Gewichtsteile	geschmolzener Tonerde,	18—40	} Brennen bei Seger- kegel 12.
60	"	"	120—180	
20	"	Portlandzement		

II. Kalk als Bindemittel:

40	Gewichtsteile	natürlichen Korund,	20
50	"	"	180
10	"	gebrannten Kalk	

oder

60	Gewichtsteile	geschmolzener Tonerde als staubfeines Mehl		} Brennen bei Seger- kegel 10.
25	Gewichtsteile	geschmolzener Tonerde	18—40	
15	"	gebrannten Kalk		

III. Gips als Bindemittel:

70	Gewichtsteile	geschmolzener Tonerde als staubfeines Mehl		} Brennen bei Seger- kegel 17.
30	Gewichtsteile	Formgips		

IV. Schutzüberzug für Schamottesteine:

20	Gewichtsteile	geschmolzener Tonerde	18—40	aufgebrannt
55	"	"	120—180	} bei Seger- kegel 14.
25	"	Portlandzement		

Zusammen-
gesetzte
korundhaltige
Versatzmittel

Damit man die nach diesem Verfahren herzustellenden Gegenstände den verschiedenen Beanspruchungen anpassen kann, schlug F. Engelhorn vor, statt des reinen, geschmolzenen Tonerdeoxydes Gemische desselben mit verschiedenen anderen Metalloxyden, sowie mit Borsäure, Kieselsäure und Phosphorsäure zu verwenden, nachdem diese Zusätze mit der Tonerde zusammen verschmolzen wurden. Nach Angaben der Patentschrift (Engl. Pat. 16714 von 1906) erhöht die Gegenwart von Magnesiumoxyd und Zinkoxyd die Widerstandsfähigkeit gegen Alkalien. Der Zusatz von Chromoxyd und Magne-

siumoxyd macht die Masse widerstandsfähiger gegen Angriffe von Kalk, flüssigem Zement, Glas und dergl. Einige Gemische der drei Oxyde (Al_2O_3 , MgO , Cr_2O_3) zusammen haben einen höheren Schmelzpunkt als reiner Korund. Gemische von Zinkoxyd mit Aluminiumoxyd schmelzen erst bei höherer Temperatur als Platin.

Die chromoxydhaltigen Gemische dehnen sich in hohen Hitze-graden aus, dagegen weisen Gemische von Aluminiumoxyd mit Eisenoxyd, Kieselsäure und Titansäure Schwindung auf. Durch Zusatz von Magnesia und Kupferoxyd laßt sich die Leitfähigkeit (für Wärme?) und durch Zusatz von Eisenoxyd und Titansäure die Dichte der Massen beeinflussen.

Die unter Zusatz der oben erwähnten Oxyde geschmolzene Tonerde wird nach dem Erkalten zerkleinert und unter Anwendung der verschiedenen, bereits bei Korund besprochenen natürlichen wie künstlichen Bindemitteln auf Gegenstände verarbeitet.

In der Patentschrift werden noch folgende Kombinationen aufgezählt:

1. 8,45 Fe_2O_3 , 40,00 MgO , 10,71 SiO_2 , 81,00 Al_2O_3 .
2. 10,0 Cr_2O_3 , 8,5 Fe_2O_3 , 40,0 MgO , 83,0 Al_2O_3 .
3. 10,0 Cr_2O_3 , 8,5 Fe_2O_3 , 81,0 ZnO , 83,0 Al_2O_3 .
4. 79,0 CuO , 102,0 Al_2O_3 .
5. 40,0 ZnO , 102,0 Al_2O_3 .
6. Eine Schmelze von Kaolin, Tonerde und Chromoxyd von der Zusammensetzung: 2,15 Cr_2O_3 , 4,19 Fe_2O_3 , 1,95 TiO_2 , 49,70 SiO_2 , 41,73 Al_2O_3 .

Es scheint jedoch, daß die Herstellung umfangreicher Gegenstände aus korundreichen Massen noch Schwierigkeiten bietet, oder daß größere Gefäße aus solchen Massen nicht mehr die so bemerkenswerten Eigenschaften kleinerer, für den Laboratoriumsgebrauch bestimmter Gerätschaften aufweisen. In dieser Beziehung dürften hier die Verhältnisse ähnlich liegen, wie bei Gefäßen aus Quarzglas, dessen so hervorragende Widerstandsfähigkeit gegen Temperaturwechsel bei umfangreichen Gegenständen viel weniger zur Wirkung gelangt.

Dank der hochfeuerfesten Eigenschaften des beim Thermitverfahren entstehenden Korundes eignet sich dieser sehr gut zur Ausfütterung der Tiegel, die zur Entzündung von Thermitmischung dienen sollen. Die Patentansprüche des hierauf an die Firma Th. Goldschmidt erteilten D. R. P. 179390 lauten:

1. Verfahren zur Herstellung einer Tiegelauskleidung für die Durchführung von Thermitreaktionen dadurch gekennzeichnet, daß

Tiegel-
ausfütterung
mit Korund.

man Magnesia oder Korund oder eine Mischung beider mit Wasserglas bindet.

2. Ein Verfahren, abgenutzte Magnesia- oder Korundtiegel dadurch wieder für die Durchführung von Thermitreaktionen gebrauchsfähig zu machen, daß man die haftende Schlacke ausschlägt und neues Material, wie im Anspruch 1 gekennzeichnet, aufträgt.

Hervorzuheben ist hierbei, daß die so reparierten Tiegelerwandungen porös bleiben, so daß die bei Verbrennung der Thermitmischung entstehenden Gase und Dämpfe leicht entweichen können und daher die Gefahr, daß ein Teil des flüssigen Inhalts ausgeschleudert werden könnte, vermieden wird.

Einfluß
des Korund-
zusatzes auf
Porzellan-
massen.

Gelegentlich seiner Versuche, Porzellan herzustellen, welches plötzlichen Temperaturwechsel vertragen kann, versetzte L. Bell¹⁾ die von ihm zur Herstellung von Hartporzellan benutzte keramische Masse aus 57,59 % Tonsubstanz, 18,01 % Quarz, 19,27 % Feldspat, 1,56 % Eisenoxyd, 3,56 % Kalk mit geschmolzenem Bauxit. Es wurden steigende Mengen von gemahlener geschmolzener Tonerde zugefügt, so daß sieben Massen erhalten wurden, deren Gehalt an freier Tonerde 8,86, 15,55, 20,15, 23,70, 26,41, 28,45 und 30,85 % betrug. Die letzten Massen ließen sich zwar auch noch gut gießen, mußten aber ihrer leichten Zerbrechlichkeit wegen nach dem Trocknen sehr vorsichtig behandelt werden. Je größer der Gehalt an künstlichem Korund war, um so mehr ging die Farbe der gebrannten Stücke (Probetiegel) in Braun über. Sie wurden mit einer Blei und Borsäure enthaltenden Glasur überzogen und bei Segerkegel 9 glatt gebrannt. Während die wenig und viel Korund enthaltenden Massen keine hervorragend hohe Widerstandsfestigkeit gegen Temperaturwechsel aufwiesen, zeigten sich die drei mittleren, d. h. mit 20 bis 27 % Korund, als die brauchbarsten. Dieselben Massen zeigten jedoch kein günstiges Verhalten, wenn sie zuerst bei Segerkegel 2 geglüht und dann, mit einer Glasur von der Zusammensetzung: $0,3 K_2O \cdot 0,7 CaO \cdot 0,5 Al_2O_3 \cdot 4 SiO_2$ überzogen, bei Segerkegel 12 glatt gebrannt wurden.

Nach G. Keppeler und A. Spangenberg (D. R. P. 201987) lassen sich gießbare Massen aus einem für das Gießverfahren selbst ungeeigneten Ton oder aus einer Mischung desselben mit Korund herstellen, wenn der Masse neben den bekannten alkalischen Zusätzen

1) Transact. of the Americ. Ceramic Soc. 1907, Bd 9, und Sprechsaal 1908, S. 675.

humose Substanzen (wie Kasseler Braun, Torf, Braunkohle) hinzugefügt werden.

Zu derselben Kategorie von tonerdereichen, korundartigen Massen gehört auch das Diamantin, das nach Vorschrift von M. Buchner in Badisch-Rheinfelden hergestellt wird. Wie die Firma Diamantinwerke Rheinfelden, G. m. b. H. (mit dem Sitze in Waldhof-Mannheim) mitteilt, besteht Diamantin aus Aluminiumoxyd (Tonerde) mit einer geringen Beimengung von Kieselsäure und wird im elektrischen Ofen bei 3000 ° C. erzeugt.

Diamantin

Diamantin ist von grauer Farbe, hexagonal kristallisiert, scharfkantig, von körniger Struktur, und da es eine Härte von über 9 besitzt, kann es auch als Schleifmittel mit Vorteil verwendet werden.

Nach Untersuchungen des Chemischen Laboratoriums für Tonindustrie (Prof. Dr. H. Seger & E. Cramer) ergab die Härtebestimmung der von den Diamantinwerken eingesandten Aluminiumoxydstücken, daß dieselben dem Diamanten gleichkommen und demnach die Härte 10 besitzen, da sie auf Korund ebenso deutliche Eindrücke hinterließen, wie Diamant, wenn dieser oder das Aluminiumoxyd unter mäßigem Druck über ein gewöhnliches Korundstück geführt wurde. Glas ließ sich mit diesem Aluminiumoxyd ebenso gut schneiden wie mit einem Glaserdiamanten.

Probekörper aus 85 Teilen Diamantin und 15 Teilen Ton, die etwa 6 cm Höhe und 10 × 10 mm Querschnitt hatten, schmolzen im Devilleschen Ofen nach etwa 30 Minuten langem Blasen, woraus zu schließen ist, daß die Mischung etwas über Segerkegel 39 steht. Nach Mitteilungen der Firma wird das Diamantin fertig gemischt geliefert, und ist die Masse nur noch mit Wasser so lange zu verdünnen, bis sie sich gut streichen läßt. Der Überzug stellt sich inklusive Arbeitslohn auf etwa 75 Pfg. pro Quadratmeter. Bedingung ist, daß das Mauerwerk, auf welches der Diamantinanstrich aufgetragen wird, aus basischem Material besteht; auf saure Steine (Dinas) darf Diamantin nicht gestrichen werden, da es mit der Kieselsäure ein verhältnismäßig leicht schmelzbares Silikat bildet. Die Diamantinüberzüge schützen das Mauerwerk der Öfen gegen mechanische wie chemische Einwirkungen der Kohle, Flugasche, der Feuerungsgase und des Schmelzgutes. Aus den von der Firma vorgelegten zahlreichen Attesten aus Betrieben verschiedener Industriezweige (chemische Großindustrie, Gußstahlfabrikation, Brennöfen für Schamottewaren) geht hervor, daß der dünne Überzug mit Diamantin in der Tat die Haltbarkeit der Öfen wesentlich (meistens aufs Doppelte) erhöht. Erwähnenswert ist folgender, im Chemischen Laboratorium

für Tonindustrie ausgeführter Versuch: Ein Schamottestein wurde mit einer Mischung von 85 Teilen Diamantin und 15 Teilen Karlicher Ton überzogen und auf die so vorbereitete Steinfläche ein Kalkkegel gestellt. Der Stein wurde im Porzellanscharffeuer bei Segerkegel 17 gebrannt, wobei zum Vergleich ein zweiter Kalkkegel auf einem unbestrichenen Steine mitgebrannt wurde. Beim Heraus-
holen aus dem Ofen stellte man fest, daß bei dem Steine ohne Überzug der Kalkkegel ein Loch eingefressen hatte, und daß bei dem mit dem Gemische von Diamantin und Ton überzogenen Schamottestein der Kalkkegel unversehrt stehen geblieben war, woraus hervorgeht, daß ein Anstrich von einer Mischung von Diamantin mit Ton selbst gegen so scharfe Flußmittel, wie Kalk, wirksam ist. Einige namhafte Metallgießereien sollen außerdem gefunden haben, daß Tiegel, namentlich Graphittiegel, mit einem Diamantinanstrich von innen und außen überzogen, viel unempfindlicher gegen Temperaturwechsel werden.

Um die Angreifbarkeit der Diamantinüberzüge durch verschiedene, in der Technik besonders häufig vorkommende Agenzien, und namentlich durch die Flugasche der Braunkohle zu prüfen, führte C. Loeser¹⁾ eine Reihe entsprechender Versuche aus. So z. B. ließ er schmelzende Braunkohlenasche bei etwa dreimal dreistündigem Vorfeuer bis 1150° und dreimal achtstündiger Glut von 1150 bis 1450° wirken. Eine 1/2 bis 1 mm starke Diamantinschicht erfüllte ihren Zweck vollständig. Auch die Gegenwart von Kalk verringert die Schutzwirkung von Diamantin nicht. Wo dagegen die Wandung mit schmelzenden Glasmassen in Berührung kommt, ist die Schutzwirkung der Diamantinschicht nicht mehr so auffallend.

Einen ausgedehnten Absatz soll das Diamantin auch für Schleifzwecke gefunden haben. Das Korn rundet nicht ab, wie es bei Schmirgel der Fall ist, sondern es trennen sich während des Schleifens kleine Partikel von demselben ab, so daß immer neue Angriffsflächen entstehen, wodurch das Erhitzen des zu bearbeitenden Werkstückes vermieden wird. Da dies Produkt nicht nur dem Schmirgel, sondern auch dem Korunde an Härte überlegen ist, so erweisen sich die Diamantinschleifscheiben, wie sie die Nadel- und Sensenfabriken gebrauchen, mehr als doppelt so haltbar, wie die aus Naxosschmirgel hergestellten. Gleich günstige Erfahrungen wurden auch seitens Marmor- und Glasschleifereien beim Schleifen und Bohren von Löchern mittels Diamantinpulvers gemacht.

1) Chemische Industrie 1905, S. 643.

Neuerdings bringt die Firma C. F. Boehringer & Söhne Dynamidon. ihre verschiedenen Korunderzeugnisse unter dem einheitlichen Namen Dynamidon¹⁾ in den Handel. Neben all den bereits aufgezählten Vorzügen der korundreichen Massen zeichnen sich die Dynamidonsteine durch ihre Härte und Druckfestigkeit aus. Die Zugfestigkeit derselben beträgt etwa 60 bis 70 kg/qcm, ihre Druckfestigkeit etwa 3000 kg/qcm, letztere entspricht also derjenigen des Granits und Basalts. Die linearen Schwindungen eines bei etwa 1500° gebrannten Dynamidonziegels wiesen nach jedem der ersten vier Brände folgende Werte auf:

Nach dem ersten, zweiten, dritten, vierten Brande
 betrug die Schwindung 0,07 % 0,06 % 0,016 % 0,016 %.

Der Vollständigkeit halber sei noch das Franz. Pat. 332770 Anderweitiger
Schmirgellersatz. und Zusatzpatent 5382 von A. Gacon erwähnt. Demnach läßt sich eine Schmirgelmasse, die dem Naxoschmirgel in keiner Beziehung nachsteht, durch starkes Erhitzen eines Gemisches von 769 kg Bauxit, 769 kg Koks, 96 kg eines Flußmittels (Kalkstein, Pottasche oder Soda) schon bei Anwendung gewöhnlicher Rostfeuerung nebst Gebläse erhalten.

Wird statt Bauxit Magnesit ($MgCO_3$) im elektrischen Ofen Geschmolzener
Magnesit. geschmolzen, so erhält man eine schwarze, graue oder grünliche Masse vom spezifischen Gewicht 3,58. Je nachdem, ob die Abkühlung schnell oder langsam vor sich ging, ist die Masse glasig oder kristallinisch. Nach dem Abschrecken und Mahlen wird dieses Material mit einem Bindemittel (Magnesiumchlorid, Wasserglas, Borsäure, Borax usw.) versetzt und zur Herstellung von Steinen und feuerfesten Anstrichen verwendet (Amerik. Pat. 785841 von G. H. Turner).

Kleinere unter Anwendung von geschmolzener und dann gemahlener Magnesia hergestellte Gegenstände, wie Tiegel, Schalen und dergl., bis etwa 500 ccm Inhalt, kann man bereits im Handel bekommen²⁾. Wie E. Wedekind³⁾ fand, halten die aus Frankfurt a. M. bezogenen Tiegel bis zu 60 Versuchen im Lichtbogen aus. An derselben Stelle berichtet Wedekind auch über Gerätschaften aus chemisch reiner, amorpher (nicht geschmolzener) Magnesia, bezogen von der Königl. Porzellanmanufaktur in Berlin. Die Tiegel aus reiner

1) Den Vertrieb dieser Erzeugnisse übernahm die „Dynamidon“ G. m. b. H. in Mannheim-Waldhof.

2) Vergl. Preisliste der Deutschen Gold- und Silberscheideanstalt vorm. Roßler in Frankfurt a. M.

3) Chemiker-Ztg. 1906, Nr. 29 (Köthen) und Sprechsaal 1906, S. 723.

Magnesia ließen sich ohne Schaden unvorgewärmt im elektrischen Lichtbogen erhitzen, und es konnte darin eine so hochfeuerfeste Verbindung wie Eisenborid geschmolzen werden, ohne daß der Tiegel sich irgendwie merkbar verändert hatte. Um die hochoverhitzte Magnesia vor dem Springen zu bewahren, muß sie langsam abgekühlt werden. Nach K. Arndt¹⁾, der Gerätschaften aus Magnesia verschiedener Provenienz untersuchte, enthält der Scherben der von der Königl. Porzellanmanufaktur gelieferten Magnesiagegenstände neben Magnesia noch folgende Bestandteile:

SiO_2	.	.	.	.	.	.	.	.	0,07	"/ ₀ ,
Fe_2O_3	.	.	.	.	.	.	.	.	0,08	"
Al_2O_3	.	.	.	.	.	.	.	.	0,22	"
CaO	.	.	.	.	.	.	.	.	0,00	"

Tonerde-
Magnesiamaße
von Heinecke

Zur Herstellung von hochfeuerfesten, dabei aber möglichst dichten porzellanartigen Gefäßen, was das Ziel so vieler Bestrebungen war, benutzt A. Heinecke²⁾ eine aus Tonerde und Magnesia bestehende Masse und teilt hierüber folgendes mit:

„Die bisher aus kieseläurefreiem Material, reiner Magnesia, reiner Tonerde und dergl. ohne Anwendung eines mineralischen, im Feuer sinternenden Bindemittels hergestellten hochfeuerfesten Gegenstände werden, auch wenn sie auf hohe Temperatur erhitzt werden, nicht dicht; sie sind deshalb für Zwecke, die neben einer hohen Feuerfestigkeit einen dichten Scherben verlangen, nicht zu verwenden. Eingehende Versuche haben ergeben, daß sich ein porzellanartig dichtes, hochfeuerfestes Material herstellen läßt, wenn man ein inniges Gemisch von reiner Tonerde und reiner Magnesia, das zweckmäßig vor dem weiteren Verarbeiten auf eine möglichst hohe Temperatur erhitzt ist, mit Hilfe einer geringen Menge eines organischen Bindemittels verformt und hoch erhitzt. Es wird angenommen, daß sich durch die Wirkung der hohen Temperatur zwischen der Tonerde und der Magnesia eine dem Spinell ähnliche Verbindung bildet, die die Tonerde- und Magnesiarteilchen, die nicht so dicht nebeneinander liegen, daß durch das Erhitzen eine chemische Verbindung eintreten kann, miteinander verkittet. Aus einem solchen Gemisch hergestellte Gegenstände, kleinere Retorten, Schmelztiegel, kurze Röhren und dergl. sind bei Segerkegel 32 im elektrischen Ofen gebrannt (wenig unter Platinschmelzhitze), porzellanartig gesintert. Die gebrannte

1) Chemiker-Ztg. 1906, Nr. 20 (Köthen) und Sprechsaal 1906, S. 555.

2) Mitteilungen der Königl. Porzellanmanufaktur in Berlin; Sprechsaal 1908, S. 160.

Masse ist durchscheinend, wie ein viel Flußmittel enthaltendes Bisquitporzellan. Ihr Schmelzpunkt liegt bei Segerkegel 37, also noch über dem des Platins. Nach vorläufigen Versuchen scheint der Widerstand der Masse gegen den Angriff von Alkalien größer zu sein, als bei gesinterten Silikatgemischen.“

Das Niederschmelzen von reiner Magnesia im elektrischen Schachtofen gelingt sehr schwer; arbeitet man mit ungenügend starkem Strom, so kann es, wie der Verfasser oft Gelegenheit hatte zu beobachten, passieren, daß ein erheblicher Teil der Beschickung verdampft, ohne daß die Magnesia überhaupt zum Schmelzen kommt. Die gleichen Wahrnehmungen werden wohl gewesen sein, die E. von Seemen veranlaßten, statt reiner Magnesia ein Gemisch von Magnesia und Quarz im elektrischen Ofen zu schmelzen (D. R. P. 189320). Man soll dabei brauchbare Versatzmittel für die keramische Industrie, sowie als Füllmittel für Farben geeignete Magnesiasilikate erhalten, falls das Rohgemenge mehr als 70 % Magnesia und weniger als 30 % Quarz bzw. Kieselsäure, oder umgekehrt, enthielt. Der Schmelzbetrieb ist kontinuierlich und die dünnflüssige Schmelze läßt sich gut abstechen. Um ein möglichst leichtes und schnelles Einschmelzen zu erzielen, ist man natürlich bestrebt, den höchsten zulässigen Quarzzusatz von 30 % zu nehmen. Um auch dann möglichst kieselsäurearme Magnesiasilikate zu erhalten, will von Seemen den Schmelzprozeß auf einem flüssigen Metallbade (D. R. P. 194949) durchführen. Befindet sich z. B. auf der Sohle des Ofens ein flüssiges Eisenbad, so nimmt dieses durch Reduktion der Kieselsäure Silizium auf, so daß das Schmelzgut entkieselt wird.

Magnesia
Quarzmass

Viel umfassender ist das D. R. P. 195772 von von Seemen mit folgenden Ansprüchen: 1. „Verfahren zur Herstellung keramischer Gegenstände aus durch Schmelzen bei hohen Temperaturen künstlich kristallinisch hergestellten Verbindungen von Kieselsäure und Tonerde, Kieselsäure und Magnesia, Magnesia und Tonerde, gegebenenfalls in Gegenwart von Kalk, dadurch gekennzeichnet, daß der zur Verformung der gekörnten Stoffe erforderliche plastische Zustand und die Bindung im Brande durch Beimengung der geschmolzenen Verbindungen in staubförmiger Zerkleinerung herbeigeführt wird.“ 2. „Ausführungsform des Verfahrens nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die zu verarbeitende Masse zusammengesetzt wird aus geschmolzenen Verbindungen von verschiedenen hohen Schmelzpunkten, die erhalten werden durch Abänderung der Mengenverhältnisse ihrer Bestandteile.“

Die Bindungs- oder Sinterungsfähigkeit ändert sich bekanntlich mit zunehmender Feinheit der Mahlung. Durch Zusammensetzung der zu verarbeitenden Masse einerseits aus einem einzigen aber verschiedenen gekörnten Rohprodukte und andererseits durch Mischung von elektrisch geschmolzenen kristallinen Rohprodukten verschiedener Zusammensetzung lassen sich demnach Gerätschaften von sehr verschiedener Feuerfestigkeit und chemischer Natur (sauer, basisch, neutral) und wohldefinierter Zusammensetzung herstellen.

Geschmolzene
Magnesia

H. M. Goodwin¹⁾ versuchte für eigenen Bedarf einfachere Gegenstände aus geschmolzener Magnesia im elektrischen Ofen mit Graphitwiderständen herzustellen und schildert seine Arbeitsweise wie folgt: „Ein Stab aus künstlichem Graphit von etwa 450 mm Länge und 16 mm Durchmesser wurde seiner ganzen Länge nach durchbohrt und so zu einem Rohre von 12 mm lichter Weite ausgebildet. Die beiden Enden des Stabes wurden zwischen starken Graphitklötzen zwecks Stromanschlusses eingeklemmt. Der senkrecht aufgestellte Graphitstab wurde dann in Koksgrieß eingepackt, um seine Verbrennung zu verhindern, und das Ganze mit feuerfesten Steinen umgeben. Es waren 20 bis 30 Kilowatt nötig, um die gewünschte Temperatur in diesem Ofen zu erhalten. Unter Zuhilfenahme eines Trichters wurde das Graphitrohr nach und nach mit chemisch reiner Magnesia unter fortwährendem Stampfen mit einem Graphitstäbchen gefüllt. Magnesia schmolz darin und man erhielt mehrere Stäbchen aus dem geschmolzenen Oxyd von etwa 50 mm Länge und etwas über 6 mm im Durchmesser.“

Auffälligerweise entsprachen in keinem einzelnen Falle die erhaltenen Magnesiastäbchen der lichten Weite des Graphitrohres, was auf eine Reaktion zwischen der Magnesia und den Rohrwandungen oder den Gasen, die durch die Wandungen eintraten, hindeutet. Dies wird auch durch die Entstehung eines flüchtigen Produktes, das im oberen kälteren Teile des Rohres sich zu einer schwarzen Masse kondensierte und das ganze Rohr zu verstopfen drohte, bestätigt. Zur Abhilfe wurden dann eine Anzahl Löcher in der Rohrwandung eingebohrt, durch welche das flüchtige Produkt entweichen konnte. Wie Versuche ergaben, enthielt es kein Magnesiumkarbid, wohl aber in irgendwelcher Verbindungsform Schwefel, der wahrscheinlich aus dem Koks einwanderte, da der Graphit schwefelfrei war.

Da es nicht gelang, auf diese Weise geschmolzene Magnesiastücke von gewünschten Abmessungen zu erhalten, versuchte Goodwin

1) Electrochem. and Metallurg. Industry 1906, Bd. 4, S. 216.

Magnesia im Lichtbogen zu schmelzen. Als Behälter für die Schmelze nahm er einen Graphitblock mit einem ausgesparten Hohlraume von $100 \times 40 \times 40$ mm; unmittelbar darüber wurde ein starker Lichtbogen erzeugt, und durch diesen hindurch ließ man Magnesia fallen. Das Ganze war mit Graphitblöcken und feuerfesten Steinen umgeben und überdeckt. Er erhielt auf diese Weise handbreite Klumpen geschmolzener Magnesia, aus denen man Zylinder von gewünschter Länge mittels Karborundwerkzeuge ausbohren oder ausschneiden konnte. In der Regel bildete die geschmolzene Magnesia keine homogene Masse, sondern bestand teilweise aus groben Kristallen, teilweise aus einer feinkristallinischen marmorähnlichen Masse. Einzelne Stücke waren wiederum so fest und kompakt, daß sie sich für Wasser wie für geschmolzene Salze als undurchlässig erwiesen. Schwierig dagegen war es, Stücke zu finden, die ganz frei von winzigen Bläschen und Löchern waren, und es gelang nicht, einwandfreie Stücke von über 2 bis 3 ccm zu erhalten. Goodwin meint jedoch, daß, wenn man in einem größeren Ofen und mit größeren Mengen arbeiten würde, diese Schwierigkeiten leicht beseitigt werden könnten. In Gemeinschaft mit R. D. Mailey¹⁾ wurden dann die physikalischen Eigenschaften der geschmolzenen Magnesia untersucht. Die kristallinische Masse war von rein weißer Farbe und sehr hart. Ihre Härte liegt zwischen den Härtegraden des durchscheinenden Apatits und des weißen spaltbaren Feldspats.

Eigenschaften
der
geschmolzenen
Magnesia.

Das spezifische Gewicht betrug bei drei Probestücken 3,485 (bei 19° C.) und 3,562 und 3,493 bei 20° C.

Die Schmelztemperatur liegt zwischen 1890 und 1940° ; als Durchschnittswert kann 1920° angenommen werden. Von besonderem Interesse sind die von Goodwin und Mailey ausgeführten Leitfähigkeitsbestimmungen für geschmolzene Magnesia und Berliner sowie Meißener Porzellan.

Die spezifische elektrische Leitfähigkeit entsprach den in der umstehenden Tabelle eingetragenen Werten.

Wie aus der Fig. 75 ersichtlich, ist geschmolzene Magnesia bei Temperaturen unterhalb 1100° ein bedeutend besserer Isolator als Porzellan. Da aber bei höheren Temperaturen der Leitfähigkeitskoeffizient der Magnesia viel rascher als der des Porzellans steigt, so ist anzunehmen, daß noch innerhalb leicht erreichbarer Temperaturen Magnesia besser leitend als Porzellan wird.

1) Vergl. außerdem Transact. Americ. Electrochem. Society. Ithaca 1906. Zeitschr. f. angew. Chemie 1906, S. 2039; Sprechsaal 1907, S. 13.

Temperatur in Grad	Elektrische Leitfähigkeit		
	Bei gut geschmolzenem Magnesiumoxyd	Bei Berliner Porzellen der Kgl. Man	Bei Meißener Porzellan
	Die Werte sind mit 10^{-6} zu multiplizieren.		
400		0,05	0,05
500		0,20	0,10
600		0,32	0,18
700		0,43	0,24
800	0,01	0,55	0,40
900	0,10	0,75	0,70
1000	0,20	1,00	0,94
1050	0,34		
1100	1,00	1,30	1,27
1150	2,60		
1500 ¹⁾	85,00		

1) Nach Nernst und Reynold, vergl. S. 158.

Außerdem ergaben diese mit Gleichstrom angestellten Versuche, daß Porzellan deutliche Polarisationserscheinungen aufweist; bei Mag-

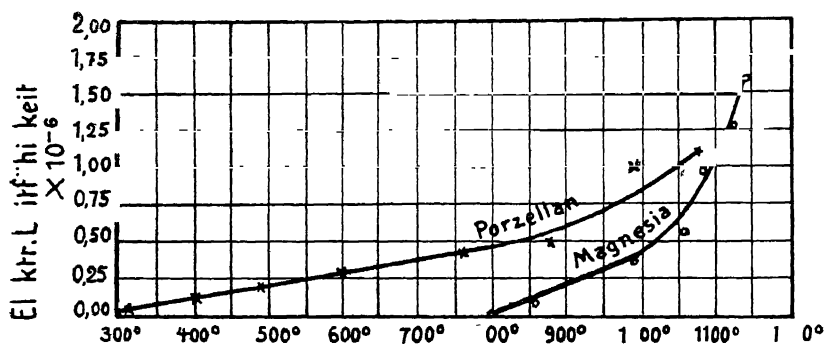


Fig. 75 Elektrische Leitfähigkeit von geschmolzenem Magnesia und Porzellan.

nesia sind dieselben völlig ausgeblieben (vergl. die Versuche von Haber, S. 55).

Nach C. Hering¹⁾ ist der spezifische elektrische Widerstand geschmolzener Magnesia bei 1500° etwa 700000 mal größer als der des Kupfers bei gewöhnlicher Temperatur; der Widerstand der Nernstschen Glühstifte ist etwa 400000 mal so groß wie derjenige des Kupfers; Porzellan leitet bei 1600° schon so gut, daß es in diesen Hitzegraden nicht mehr als Isolator angesehen werden darf und geradezu als Heizwiderstand benutzt werden kann.

Der Ausdehnungskoeffizient geschmolzener Magnesia, den G. W. Eastman für Temperaturen zwischen 120 und 270° zu

$$\alpha_t = 10^{-8} [1140 + 0,92 (t - 120)]$$

bestimmt hat, ist fast identisch mit demjenigen des Platins.

1) Electrochem. and Metallurg. Industry 1906, S. 216.

In chemischer Beziehung zeigte geschmolzene Magnesia folgendes Verhalten. polierte Stücke hiervon wurden stundenlang in flüssigen Schmelzen der Nitrate des Kaliums, Natriums und Silbers, der Kalium- und Natriumchloride, -bromide, -sulfate, des Zinkchlorides und des Bariumnitrates erhitzt, ohne daß irgendwelche Einwirkung der Salze auf Magnesia konstatiert werden konnte. Bariumchlorid zeigt ein kaum merkliches Angreifen, dagegen wirken sehr energisch geschmolzenes Natrium- und Kaliumnatriumkarbonat, Kaliumhydrat und Kryolith

Verdünnte Salz-, Salpeter- und Schwefelsäure greifen geschmolzene Magnesia in der Kälte meist recht langsam an; die konzentrierten Säuren sind noch weniger aktiv als die verdünnten.

Es ist anzunehmen, daß geschmolzenes Eisenoxyd, grobkörnig als Magerungs- und Versatzmittel angewandt, einen ganz anderen Einfluß als der gewöhnliche Eisenoxydgehalt der Tone auf die Eigenschaften der keramischen Massen ausüben wird, worauf ja auch das Verfahren von Engelhorn (S. 146) schließen läßt.

Geschmolzenes
Eisenoxyd

Über Gegenstände aus gegossenem Eisenoxyd vergl. S. 194.

Die Verwendung seltener Erden (Oxyden von Cer, Lanthan, Yttrium, Zirkon usw.) sowie ihrer Gemische und Salze zur Erhöhung der Feuerbeständigkeit keramischer und ähnlicher Erzeugnisse schlug O. Pufahl (D. R. P. 156756) vor. Auf dieses Verfahren, zu dessen Durchführung man des elektrischen Ofens nicht bedarf, wird hier nur deshalb näher eingegangen, weil es nicht ausgeschlossen ist, daß es bei Herstellung von Ofenteilen (Ausfütterung, Röhren und dergl.) für elektrische Öfen mit Vorteil angewendet werden könnte. Die aus Cerit, Monazit, Monazitsand und ähnlichen Mineralien und Gesteinsarten darstellbaren seltenen Erden und ihre Mischungen miteinander sind nur im elektrischen Flammbogen schmelzbar, besitzen eine große Dichte und haben nur geringe Neigung, mit Flugasche usw. zu verschlacken. Durch Beimengungen zu den keramischen Massen sowie durch nachheriges Bestreichen der fertigen oder halbfertigen Waren in maßig dicker Schicht erhöhen die seltenen Erden die Feuerbeständigkeit und die Dauerhaftigkeit keramischer Erzeugnisse (wie Steine, Röhren, Retorten, Muffeln usw.) ganz erheblich. Namentlich in den Rückständen von der Fabrikation der Leuchtsalze für die Gasglühlichtindustrie sind die seltenen Erden als Hydroxyde, Oxalate usw. in bedeutenden Mengen enthalten und können daraus in einer für die gedachte Verwendung geeigneten Form technisch rein sowie in Gemischen miteinander im Großbetriebe hergestellt werden.

Seltene Erden.

Es sei noch hervorgehoben, daß es sich herausgestellt hat, daß Gefäße aus Zirkonerde sich zum Schmelzen von Quarz zwecks Herstellung von Gegenständen aus geschmolzenem Quarz („Quarzglas“) gut eignen (vergl. dieses).

Da es möglich erscheint, daß noch andere Spezialfälle ausfindig gemacht werden, für die die Verwendung der sogen. seltenen Erden Vorteile bietet, so sei hier auf die Arbeiten von Nernst und seines Mitarbeiters H. Reynolds¹⁾ und speziell auf die Dissertation des letzteren, aus der hier einige Zahlen mitgeteilt werden sollen, verwiesen.

Die spezifische elektrische Leitfähigkeit betrug bei:

Reiner Magnesia, MgO	bei 1500 ° C.	0,000085
Zirkonerde, ZrO_2	„ 1200 ° „	0,0008
„ „	„ 1400 ° „	0,0034
Yttriumoxyd, Y_2O_3	„ 1320 ° „	0,002

Zirkonerde-
gefäße.

Die hier gefundene relativ gute Leitfähigkeit der Zirkonerde ist letzthin auch von R. Rieke²⁾ bestätigt worden. Rieke arbeitete mit „brasilianischer Zirkonerde“ mit 90 % ZrO_2 . Durch etwa einstündiges Auskochen des gemahlten Produktes mit konzentrierter Salzsäure konnte etwa die Hälfte der Verunreinigungen (vorwiegend Eisenoxyd) entzogen und der ZrO_2 -Gehalt auf 96 % erhöht werden.

Aus dem so erhaltenen grauen Pulver und unter Zusatz von Mehl geformte Rohre konnten im elektrischen Kohlengrießofen allerdings auf Segerkegel 41 bis 42 erhitzt werden; bei mehrmaligem Gebrauche wurden jedoch auch sie so stark leitend, daß ein Durchschmelzen an einer Seite stattfand. Als ein derartig durchgeschmolzenes Rohr noch glühend aus dem Ofen genommen wurde, zerrieselten die geschmolzenen gewesenen Partien zum Teil unter lebhaftem Erglühen. Das herabgerieselte graue Pulver zeigte beim Erhitzen auf Rotglut mitunter nochmals ein intensives Erglühen, wobei es seine graue Farbe verlor und eine gelbliche Färbung annahm. Wahrscheinlich hatte sich ein Teil des geschmolzenen Zirkoniumoxydes mit der anliegenden Kohle in Zirkoniumkarbid umgesetzt, das beim Glühen an der Luft zu ZrO_2 und CO_2 verbrannte. Nach Moissan³⁾ bildet geschmolzenes Zirkoniumoxyd sehr leicht mit Kohle ein Karbid von der Formel ZrC , welches beim Erhitzen auf Rotglut in Sauerstoff mit lebhaftem Glanze verbrennt.

1) Über die Leitfähigkeit fester Mischungen bei hohen Temperaturen. Ein spezieller Fall der festen Lösungen. Göttingen 1902.

2) Sprechsaal 1908, S. 214.

3) Der elektrische Ofen. Deutsche Ausgabe 1897, S. 233.

Die Gesamtschwindung betrug etwa 14 bis 15 % bei dem gemahlenen, mit Salzsäure gereinigten und unter Zusatz von organischen Bindemitteln verarbeiteten Material. Bei Segerkegel 15 gebrannt, zeigten die Gegenstände braunliche Färbung und eine noch ziemlich große Porosität. Auf Segerkegel 30 gebrannt, schwanden sie dann nur noch um weitere 1 bis 2 % und waren immer noch etwas porös; bei längerer Dauer der Erhitzung wurden sie fast ganz dicht. Wurde nur rohes, gemahlenes Material verwendet, so traten besonders bei Tiegeln mit dünner Wandung und bei etwas zu schnellem Erhitzen Risse auf, oder die Gegenstände verzogen sich. Zur Vermeidung dieser Übelstände wurde dem rohen Material ein bis zwei Drittel von schon hoch gebranntem und grob zerkleinertem Zirkonmineral zugesetzt. Tiegel, welche unter Zusatz organischer Bindemittel aus dieser schamotteartigen Masse hergestellt wurden, zeigten eine viel geringere Schwindung, etwa 7 bis 8 %, und behielten ihre Form gut bei; auch gegen plötzlichen Temperaturwechsel erwiesen sie sich als ziemlich widerstandsfähig. Allerdings zeigten sie, auch bei Temperaturen über Segerkegel 30 gebrannt, keine völlige Sinterung. Bemerkenswert ist es übrigens, daß die Gegenstände, besonders wenn sie in direkter Berührung mit Kohle erhitzt werden, wie es bei den Heizrohren der elektrischen Öfen der Fall ist, bei öfterem Gebrauche durch allmähliche Verflüchtigung der leichter schmelzenden Verunreinigungen, wie SiO_2 , Fe_2O_3 usw. poröser werden.

Aus den bisherigen Versuchen ist zu schließen, daß das Material zwar für den ursprünglich vorgesehenen Zweck, nämlich zur Herstellung hochfeuerfester Rohre für die elektrischen Kohlengrießwiderstandsöfen sich nicht besonders gut eignet, namentlich wegen der bei den hohen in Betracht kommenden Temperaturen eintretenden Leitfähigkeit; für die Herstellung außerordentlich feuerfester Tiegel läßt sich dagegen das Material sehr gut anwenden. Die Verwendung von derartigen Tiegeln in einem besonders hierfür geeigneten elektrischen Tiegelofen und der Vergleich der Zirkonerde mit anderen feuerfesten Materialien sind in den bereits wiedergegebenen Ausführungen von Simonis (S. 102) erörtert worden.

Diese Forschungen von Nernst, Reynolds u. A. waren es wahrscheinlich, die einen der namhaftesten Elektrotechniker der Gegenwart, Ch. P. Steinmetz, zum Entwerfe eines elektrischen Schmelzofens führten, dem zwar jede praktische Bedeutung entgehen dürfte, der aber doch interessante Eigentümlichkeiten aufweist und daher hier kurz erwähnt werden soll (Amerik. Pat. 773 821).

Die Wandungen des Ofens (Fig 76) bestehen aus solchen hochfeuerfesten Materialien (Silikaten, Chromaten, Wolframaten), die bei

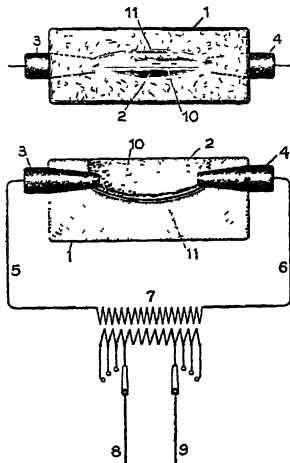


Fig. 76 Ofen von Steinmetz

hohen Temperaturen elektrisch leitend werden. Als Stromzuführungen dienen die Kohlenblöcke 3 und 4, und damit das Ofenfutter weniger leidet, wird Wechselstrom benutzt. Um den Ofen in Gang zu setzen, wird zwischen den Kohlenstäben 3 und 4 ein Kohlenfaden 10 eingeschaltet, der glühend wird und den Boden anwärmt, bis dieser selbst elektrisch leitend wird. Da bei verschiedenen Temperaturen und je nach der Beschickung der innere Widerstand des ganzen Apparates sich zwischen weiten Grenzen ändert, so ist der Ofen mit einem regulierbaren Transformator 7—8—9 versehen, so daß man dem Ofen Strom bald von höherer

bald von niedrigerer Spannung zuführt. In diesem Ofen soll man Glas, Karbid, geschmolzene Tonerde herstellen können, und er soll sich besonders gut zur Erzeugung von Edelsteinen, wie Saphir, Rubin, Topas und dergl., eignen.

V. r d r " r bild d g r - d V r t mitt l d d r V r rb it g.

Der bei Herstellung von Graphittiegeln bis jetzt verwendete Graphit dürfte wohl ausschließlich natürlichen Ursprungs sein. Da er hierbei so wie so mit Ton vermengt werden muß, so kommt es gar nicht darauf an, daß bei der Reinigung des natürlichen Graphits einige seiner Beimengungen nicht ganz zu entfernen sind. Auch dürfte der natürliche Graphit dank seiner schuppenartigen Struktur sich zur Verarbeitung besser eignen als der viel teuerere, wenn auch reinere, künstliche Graphit. Dieser wird aus reineren Koks- und Kohlenarten (Anthrazit, Petroleumkoks) eventuell unter Zusatz von geringen Mengen von Eisen- und Manganoxiden von der Acheson Graphite Company am Niagara-fall in erheblichen Mengen in Platten und Blöcken bis zu 1 m Länge und etwa 16 × 16 cm Querschnitt im elektrischen Ofen erzeugt. Näheres über die Herstellung und Eigenschaften des künstlichen Graphits findet man in der Schrift von F. A. J. Fitz-Gerald¹⁾, aus der auch die umstehenden Fig. 77 a u. b des von der Acheson Co. benutzten Ofens zur Herstellung von Graphitplatten entnommen sind. Man formt zuerst die Platten aus einem Brei von Koks und Teer wie bei der Fabrikation von elektrischen Kohlen; dann packt man die Platten *e* in Kokspulver *g* ein und setzt das Ganze unter Strom, der durch die Elektroden *cc* zugeführt wird.

Graphit.

Die Kieselsäure oder Siliziumdioxid (SiO_2) ist bekanntlich im Gegensatz zur Tonerde auch in sehr dichter Modifikation und so gut wie in chemisch reinem Zustande (als Bergkristall, Quarz, Flußsand) sehr verbreitet, und es liegt daher kein Grund vor, die Kieselsäure zwecks Verarbeitung für feuerfeste Massen noch vorher im elektrischen Ofen umzuschmelzen. Die Herstellung von Steinen aus nahezu reinem Siliziumdioxid (Dinas mit etwa 96 % SiO_2) findet

Quarz.

1) Künstlicher Graphit. Erschienen in Übersetzung von M. Huth, Verlag von Wilhelm Knapp, Halle a. S. 1904.

seit langem statt, und die Dinas werden dank ihrer hohen Feuerfestigkeit auch sehr geschätzt. Es ist wahrscheinlich, daß wenn man dinas-ähnliche Steine aus vorerst geschmolzenem Quarz herstellen würde, die Steine die sonst den Dinas anhaftende überaus große Empfindlichkeit gegen Temperaturwechsel verlieren würden, wodurch jedoch

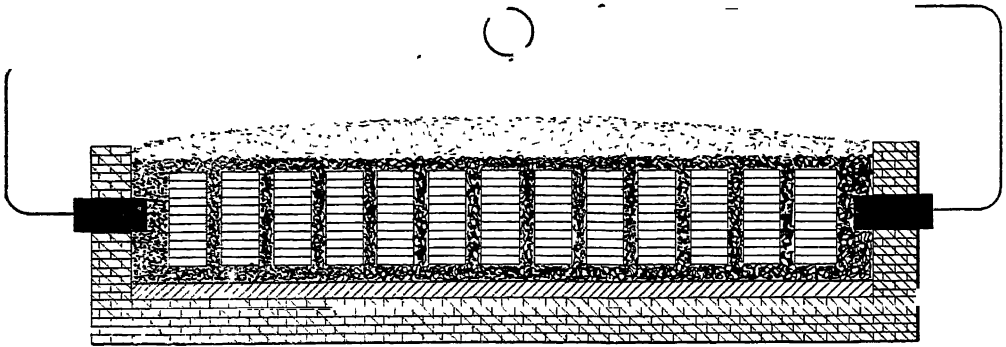


Fig. 77a Ofen zur Herstellung von Graphitplatten nach Acheson

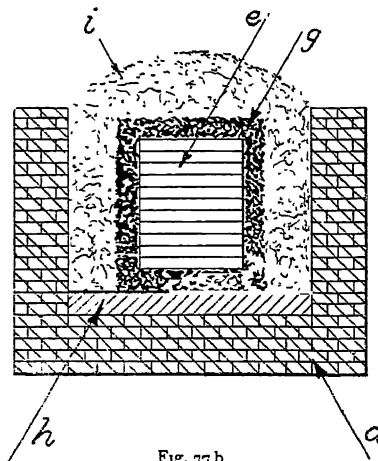


Fig. 77b
Ofen zur Herstellung von Graphitplatten
nach Acheson

die Mehrkosten bei der Herstellung sich kaum einbringen lassen dürften. Es muß auch eingeräumt werden, daß das Schmelzen von Kiesel im elektrischen Ofen insofern Schwierigkeiten bietet, als die Kieselsäure beim Erhitzen sich leicht verflüchtigt (sublimiert) und außerdem in Berührung mit Kohle viel leichter als Tonerde bzw. Aluminiumoxyd ihren Sauerstoffgehalt verliert und teils metallisches Silizium, teils Verbindungen mit Kohlenstoff bildet. Moissan¹⁾ beschreibt das Verhalten der Kieselsäure im elektrischen Flambogenofen in folgender Weise:

„Bei Anwendung eines Stromes von 1000 Amp. und 50 Volt geht die Bildung von Kieselsäuredampf in sehr reichlicher Weise vor sich. In wenigen Augenblicken ist man von sehr leichten Kieselsäurefäden²⁾ umgeben, die in der Luft schweben und lange Zeit sus-

1) H. Moissan, Der elektrische Ofen, S. 243 und 325. Übersetzt von Th. Zettel. Verlag von M. Krayn, Berlin 1900.

pendiert bleiben. Untersucht man diese Fäden unter dem Mikroskope, so findet man, daß sie aus sehr kleinen Kügelchen von Kieselsäure bestehen. Setzt man den Versuch nicht bis zur völligen Verfluchtigung der Kieselsäure fort, so findet man im unteren Teile des im Tiegel hinterbliebenen Rückstandes mitunter ganz charakteristische Siliziumkristalle. Die Mundung des Rohres, in dem sich das zu erhitzende Gemenge von Bergkristall und Kohlenpulver befand, ist von flockiger Kieselsäure umgeben; darunter findet man sehr deutliche, fast farblose Kristalle von Siliziumkarbid bzw. Karborund und noch weiter unten einen ganzen Ring von schwarzen glänzenden Kristallen, hier und da mit geschmolzenen Siliziumkügelchen untermischt. Der kristallinische Staub aus dem ganzen Rohre enthielt aber 28 bis 30 % kristallisiertes Silizium.

Die chemische Untersuchung dieses Körpers geschah in der Weise, daß zur Bestimmung des Kohlenstoffs (durch Auffangen der entstehenden Kohlensäure) 0,2 g Substanz mit Bleichromat gemischt in einem Platinschiffchen in einem Rohre aus Berliner Porzellan im Sauerstoffstrom etwas über 1000° erhitzt wurde. Das Silizium wurde durch Aufschließen der Substanz mit Alkalien als Kieselsäure gewogen. Auf diese Weise wurde ermittelt, daß die Zusammensetzung des Siliziumkarbids genau der Formel SiC entspricht, und daß es aus 70 Gewichtsteilen Silizium und 30 Teilen Kohlenstoff besteht.“

Siliziumkarbid
und Karborund.

Im Sauerstoff bei 1000° erhitzt, bleibt kristallisiertes Siliziumkarbid unverändert. Im Knallgasgebläse unter Anwendung eines großen Überschusses an Sauerstoff bis zu Weißglut erhitzt, verbrennt der Kohlenstoff langsam und das Silizium bleibt als Kieselsäure in Form von geschmolzenen durchscheinenden Kügelchen zurück.

Das Siliziumkarbid (bzw. Karborund) scheint, wenigstens bei gewöhnlichem Drucke, unschmelzbar zu sein. Wird es im elektrischen Ofen ohne Luftzutritt auf eine sehr hohe Temperatur erhitzt, so zersetzt es sich langsam, indem Silizium verdampft und der Kohlenstoff als Graphit zurückbleibt. Es zeigt sich bei dieser Zersetzung nicht das geringste Anzeichen eines Schmelzens, denn der zurückbleibende Graphit hat genau die Gestalt der Karborundkristalle, indem sogar die Ecken vollkommen scharf erhalten bleiben. S. Tucker und A. Lampen¹⁾ haben sich in neuester Zeit mit der Bestimmung der Bildungs- und Zersetzungstemperaturen des Karborunds be-

Eigenschaften
des Karborunds.

1) Journ. Americ. Chem. Soc., Bd. 28, S. 846; Chem. Centralbl. 1906, Bd. 2, S. 828

schäftigt und fanden, daß die Bildung von kristallisiertem Siliziumkarbid zwischen 1900 und 2000 ° beginnt. Die Zersetzung in Silizium und Graphit beginnt zwischen 2200 und 2400.

Beim Erhitzen mit Bleichromat wird Siliziumkarbid angegriffen; im Chlorstrom e 1½ Stunden bei 600 ° gehalten, zeigte es nur eine ganz oberflächliche Einwirkung und verlor nur etwa 5 % vom Gewichte. Dagegen wird es bei 1200 ° durch Chlor gänzlich zerstört. Geschmolzenes Kaliumnitrat (Salpeter) und Kaliumchlorat greifen es nicht an und ebensowenig kochende Schwefelsäure und Salzsäure oder das Gemisch von Salpetersäuremonohydrat und Fluorwasserstoffsäure, welches reines Silizium mit Leichtigkeit auflöst. Schmelzendes Ätzkali zersetzt die Verbindung unter Bildung von Kaliumkarbonat und -silikat. Nach Mitteilungen von Fitz-Gerald werden die Kristalle auch durch schmelzendes Bisulfat nicht angegriffen. Erhitzt man sie jedoch in einer Mischung von Bisulfat und Fluornatrium über der Gebläseflamme, so werden sie zersetzt. In gleicher Weise zersetzend wirken manche geschmolzenen Metalle (Eisen, Kupfer, Magnesium, Natrium usw.). Dagegen sind Lösungen von Ätzalkalien ohne Einfluß. Wird das käufliche Produkt (Karbonumpulver) mit einer konzentrierten Ätznatronlösung erhitzt, so findet allerdings eine Reaktion statt, wobei ein brennendes Gas entweicht; dies rührt jedoch nur von Verunreinigungen her und hört bald auf.

Die elektrische Leitfähigkeit¹⁾ von Siliziumkarbid verhält sich zu derjenigen der zerkleinerten Elektrodenkohle nach Schätzung Fitz-Geralds¹⁾ wie 4,5 zu 72,8.

Herstellung von
Karbonund
nach Acheson.

Ein Verfahren zur technischen Gewinnung von Siliziumkarbid ist im Beginn der 90er Jahre von E. G. Acheson gefunden worden, als er bei Versuchen, auf elektrischem Wege künstliche Diamanten für Schleifzwecke herzustellen, ein Gemisch von Kohle mit Ton im elektrischen Ofen erhitzte. Er erhielt hierbei Kristalle von sehr großer Härte, die er anfanglich für eine Aluminiumverbindung hielt und mit dem Namen Karborund belegte. Es stellte sich bei näherer Untersuchung heraus, daß die Kristalle im wesentlichen nur Silizium und Kohlenstoff enthielten, und daß sie auch aus einem Gemische von nur Kohle und Sand, also in Abwesenheit von Tonerde entstehen. Seit etwa 10 Jahren wird Karborund von der am Niagara-fall gelegenen „Carborundum Company“ im Großbetriebe hergestellt, und aus den zahlreichen Veröffentlichungen von Acheson,

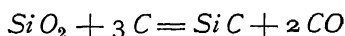
1) Electrochem. Ind. II, 1904, S. 439.

J. W. Richards und F. A. J. Fitz-Gerald¹⁾ ist auch die Arbeitsweise dieser Firma genauer bekannt geworden. Zur Verarbeitung gelangt ein Gemisch von

Sand (Glassand mit 99,5 % SiO_2)	. . . . .	261 kg,
aschenarmem Hochofenkoks	. . . . .	177 "
Sagemehl	. . . . .	53 "
Kochsalz	. . . . .	9 "

Der Zusatz von Sagemehl bezweckt, die Mischung porös zu erhalten, damit die Gase leichter entweichen können. Worauf die als günstig erkannte Wirkung des Kochsalzes beruht, ist mit Sicherheit nicht bekannt²⁾.

Die Seitenwände der Karborundöfen (Fig. 78 u. 79) werden bei jeder Beschickung aus feuerfesten Steinen ohne Mörtel neu aufgebaut³⁾. Die Gesamtlänge eines Ofens beträgt etwa 7 m; von innen gemessen ist der Ofen 5 m lang, 1,7 m hoch und 1,8 m breit. Die Beschickung der Öfen mit rohem Gemenge wird derart vorgenommen, daß um die Elektroden eine aus feinerem Kohlenpulver bestehende Schutzschicht c und dem Ofen entlang ein Kern C aus granulierter Kohle gebildet wird. Der Ofen faßt 9 bis 10 Tonnen Beschickung, die 3150 kg verkaufsfähiges Karborund ergeben. Der Brand dauert 36 Stunden. Fünf solche Öfen werden hintereinander geschaltet, und man schließt sie in einen Wechselstromkreis mit regulierbarer Spannung von 75 bis 210 Volt ein. Zur Herstellung von 1 kg Karborund wurden etwa 8,5 Kilowattstunden verbraucht. Während des Prozesses vollzieht sich die Reaktion:



1) Vergl. die D. R. P. 76629, Amerik. Pat. 492767, Amer. Reissue 11473, und außerdem die Schrift von F. A. J. Fitz-Gerald: Carborundum, übersetzt von M. Huth, Wilhelm Knapp, Halle a. S. 1904, aus der auch einige der nachstehenden Mitteilungen entnommen sind.

2) Nach den Erfahrungen des Verfassers empfiehlt sich bei den meisten Schmelzoperationen, bei denen die Beschickung als Heizwiderstand benutzt wird, ein Zusatz von verhältnismäßig leicht flüchtigen Chloriden der Alkalien oder Erdalkalien. Dank der Entstehung gut leitender Dämpfe dieser Salze ist der Gang des Ofens viel ruhiger und die während der Anheizphase sonst auftretenden starken Stromschwankungen werden bedeutend gemildert.

3) F. J. Tone (Amerik. Pat. 800515) schlug neuerdings vor, statt die Wände jedesmal abzubreaken, sie aus einzelnen in Eisenrahmen gehaltenen Teilen, die durch Krane bewegt werden können, zusammenzusetzen. Ferner empfiehlt Tone (Amerik. Pat. 908357), die Karborundöfen zuerst mittels Gas vorzuheizen und nur den letzten Temperaturanstieg mittels elektrischer Heizung zu bewirken.

Ist der Schmelzprozeß beendet, so wird der Strom unterbrochen, die Seitenwände des Ofens bis zur Hälfte abgetragen und der lockere, unverändert gebliebene Teil der Beschickung entfernt. Hierauf wird der Ofen einige Stunden erkalten gelassen und dann die Kruste von unveränderter Mischung und der sogen. „Weißmasse“,

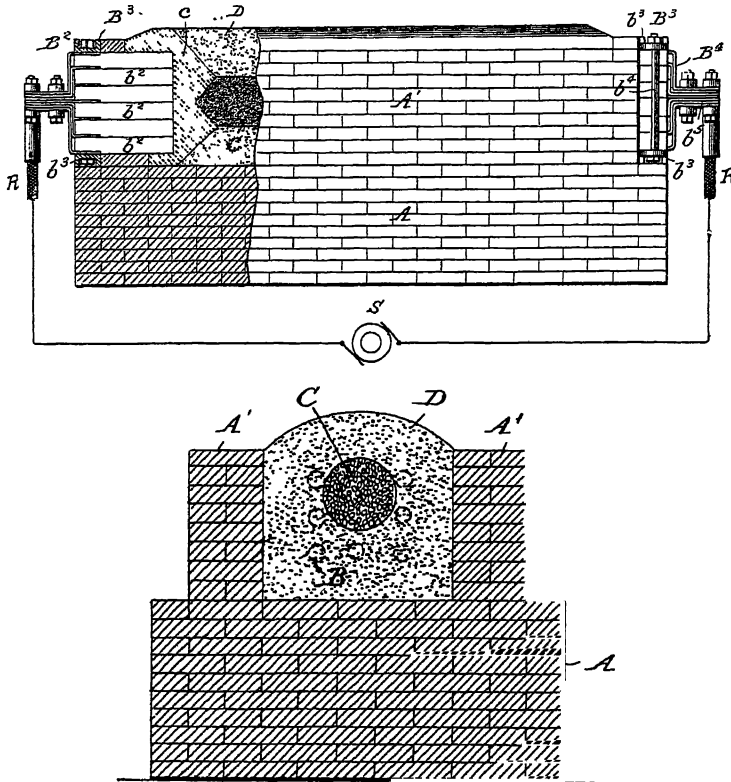


Fig. 78. Längs- und Querschnitt durch einen Karborundofen von Acheson.

die das Karborund umgibt, entfernt. Nun wird zunächst das Karborund, das die obere Hälfte des Kernes *C* umgibt, und dann der Kern selbst herausgenommen, wodurch die untere Hälfte des Karborundzylinders freigelegt wird. Hierauf wird diese und schließlich die „Weißmasse“ sowie die unveränderte Mischung vom Boden des Ofens herausgehoben, der nun wider von neuem beschickt werden kann.

Zur bequemen Beschickung von Graphit- und Karborundöfen schlug W. Huffmann (Amerik. Patent 860477) die folgende Arbeitsweise vor: Der Ofen (Fig. 80) besteht aus dem feuerfesten Boden *A* und den aus Schamottesteinen lose zusammengesetzten

Längswänden BB' . Die Querseiten C mit den Elektroden D brauchen nach Beendigung der Operation nicht abgerissen zu werden und sind daher dauerhaft eingebaut. Beim Beschicken

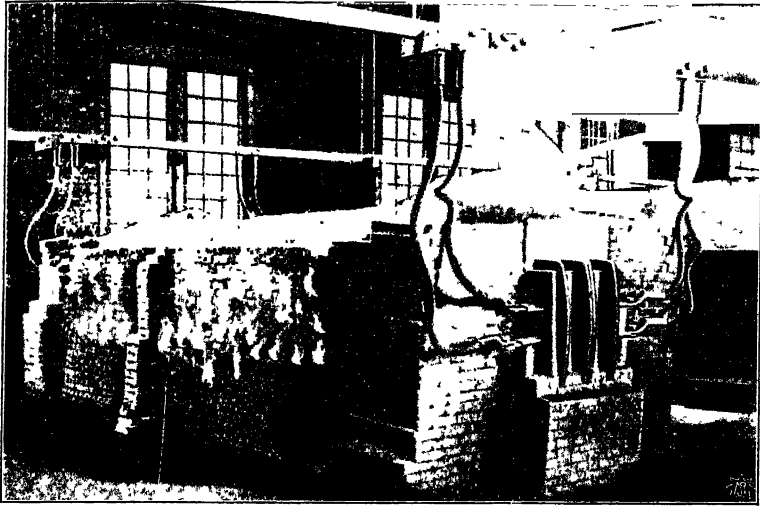


Fig 79. Karborundofen von außen gesehen.

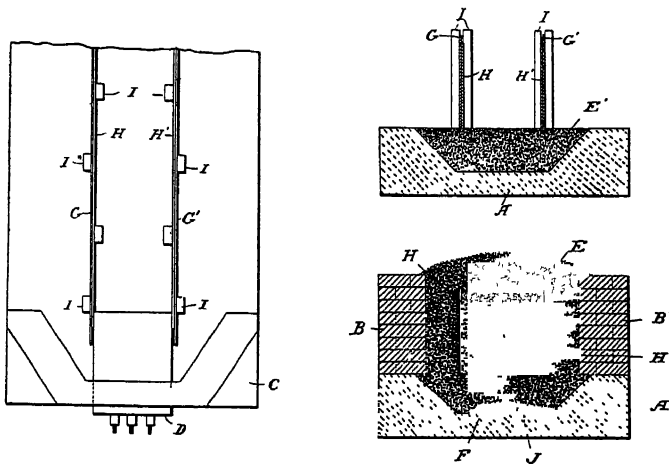


Fig. 80. Beschickung der Karborundöfen nach Huffmann.

des Ofens wird zuerst die Bodenrinne mit der Masse E' aufgefüllt, die an der Reaktion nicht teilnimmt und hauptsächlich zur Verringerung der Wärmeverluste und zum Schutze der Ofenwandungen dient. Mittels Eisenblech, Holzbretter und dergl. werden Kanalwände GG' errichtet, die durch Pfosten aus gleichem Material J in ihrer Lage gehalten werden. Vor der inneren oder äußeren Seite

des so gebildeten Kanals wird noch eine Schicht *H* aus biegsamem Material, wie z. B. Pappe, angebracht, die äußeren Hohlräume werden mit der Schutzschicht *E* aufgefüllt, der innere Kanal zuerst zur Hälfte mit der Reaktionsmasse *F* beschickt, wenn nötig der Kern *J* eingesetzt und dann mit der Reaktionsmasse *F* nachgefüllt. Die Bleche *GG'* und die Pfosten *J* werden nun herausgezogen, da sie sonst verbrennen würden, und das Ganze mit der Füllmasse *E* überschichtet.

Je nachdem, ob als Ausgangsmaterial Sand oder Ton genommen wird, zeigen die Karborundkristalle etwas voneinander abweichende Zusammensetzung:

	1	2	3	4
	(Analysen aus der Patentschrift von Acheson)		Eine von Fitz-Gerald mitgeteilte Analyse einer Karborundprobe ¹⁾	Berechnet für SiC
Silizium (Si)	69,19	69,51	69,10	70,30
Kohlenstoff (C) . . .	29,71	30,09	30,20	29,70
Tonerde und Eisenoxyd ($Al_2O_3 + Fe_2O_3$) . .	0,38	4,78	0,49	
Kalziumoxyd (CaO) . .	0,19	0,17	0,15	
Magnesiumoxyd (MgO) .	0,06	0,18	—	
Sauerstoff (Differenz)	0,47	4,27	—	

1) Diese Karborundprobe wurde vor der Untersuchung sorgfältig gereinigt, indem sie zunächst mit Salzsäure und dann mit Natronlauge behandelt, hierauf im Sauerstoffstrome erhitzt und schließlich mit Fluorwasserstoffsäure digeriert wurde

Nach J. W. Richards¹⁾ stellen sich die Selbstkosten auf 40 Pfg. pro Kilogramm; darin sind auch die Kosten enthalten, welche durch die nachträgliche Reinigung des Produktes mit Schwefelsäure verursacht werden. Ein großer Teil der Produktion wird von dem Werke selbst zu Schleifscheiben verarbeitet, als Bindemittel wird hierbei Kaolin mit Feldspat benutzt, die beim Brennen der Ware verglasen. Das Karborundpulver wird in 20 verschiedenen Feinheitsgraden geliefert und kostet im Handel etwa 65 bis 70 Pfg. das Kilogramm. Die Produktion für 1904 soll etwa 3500 Tonnen im Werte von 2,5 Millionen Mark betragen haben. Im Jahre 1905 ist die Produktion infolge verschiedener Störungen und zeitweiser Betriebseinschränkung zwecks Vergrößerung der Anlagen auf 2500 Tonnen zurückgegangen.

Die Ende der 90er Jahre gegründete ungarische „Carborundum Company“ zu Benatek scheint schon vor der Betriebsöffnung eingegangen zu sein.

1) Vergl. Jahrbuch f. Elektroch. 1902, Bd. 9, S. 490

Die bereits erwähnte französische „Fabrique de Carborundum“ in La Bathie¹⁾ stellt neben ihrem Haupterzeugnis Electrit auch Siliziumkarbid (SiC) dar. Die dem Verfasser zugesandten Muster zeigten ein von dem Karborund Achesons zwar wesentlich verschiedenes, aber ganz einheitliches Aussehen und bestanden aus lauter kleineren, sehr gut ausgebildeten blauschwarzen, stark glänzenden Kristalldrusen. Mit dem Achesonschen Karborund gelang es dem Verfasser nicht, die Kristallflächen des französischen Siliziumkarbids anzuritzen. Nach den Angaben der Firma hat ihr Karborund folgende Zusammensetzung:

Fabrique de
Carborundum
in La Bathie.

Silizium	66—68 %,
Kohlenstoff	30 %,
Eisen	1—1,5 %,
Tonerde	1—1,5 „
Kalk und Magnesia	Spuren,
Schwefel und Phosphor	nicht nachweisbar.

Ein Verfahren zur Herstellung von Karborund unter gleichzeitiger Gewinnung von amorpher Tonerde beschrieb F. C. Weber

Herstellung von
Karborund und
Tonerde
von Weber

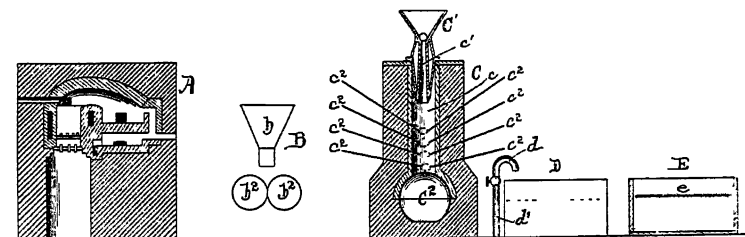
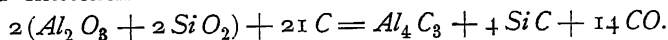


Fig. 81 Karborund- und Tonerdegewinnung nach Weber.

(Amerik. Pat. 728528). Ein Gemisch von Kaolin und Kohle wird im elektrischen Ofen erhitzt, wobei Aluminiumkarbid und Siliziumkarbid entstehen sollen:



Das erhaltene Produkt wird mit Wasser behandelt, das mit dem Aluminiumkarbid unter Bildung von Methangas und Tonerdehydrat reagiert.

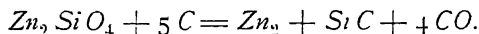
Die hierfür empfohlene Anlage (Fig. 81) besteht aus dem Flammofen A zum Brennen von Kaolin, aus der Zerkleinerungsvorrichtung B für die Kaolinklinker, dem elektrischen Ofen c, in dem Kaolin mit Koks gemischt durch eine Reihe von Lichtbögen c^2 passiert und in

1) Hervorgegangen von der Compagnie Internationale de Carborundum, die bei La Bathie eine Wasserkraft von 1250 P.S. besaß.

Silizium- sowie Aluminiumkarbid umgewandelt wird. Das erhaltene Kalziniergut wird in *D* mit Wasser behandelt, wobei Siliziumkarbid zusammen mit Tonerdehydrat zurückbleibt. Das erste bleibt nun auf dem Filtertuche *e*, wogegen der größte Teil des Tonerdehydrats vom Wasser heruntergespült wird. Durch Eindampfen und Kalzinieren soll eine für Aluminiumfabrikation geeignete Tonerde gewonnen werden.

Gewinnung von
Korborund und
Zink nach
Dorsemagin

A. Dorsemagin¹⁾ (D. R. P. 128535) schlug bereits etwas früher ein ähnliches Verfahren vor, bei dem jedoch statt der Aluminiumsilikate (Ton) ein Zinksilikat als Ausgangsmaterial benutzt werden sollte, wobei die Entstehung von Siliziumkarbid und metallischem Zink erwartet würde:



Diese beiden Verfahren dürften jedoch kaum mehr als patentrechtliches Interesse bieten.

Verarbeitung
des Korborunds
zu keramischen
Massen

Mit dem ersten Erscheinen des Korborunds im Handel begannen auch die Bemühungen, seine wertvollen Eigenschaften bei der Herstellung von feuerfesten Waren zu verwerten. Das Korborund ist gänzlich unplastisch, und es muß daher mit irgendwelchen Bindemitteln versetzt werden, die seine Schmelzbarkeit nicht herabdrücken.

Verfahren von
Acheson

Acheson (Amerik. Pat. 615648)²⁾ empfahl anfangs zu diesem Zwecke, die Korborundkörner, mit einer gesättigten Eisensulfatlösung oder anderen Eisenverbindungen vermengt, unter hohem Druck in die passenden Formen zu pressen und dann stark zu brennen. Das aus den durch die Hitze zersetzten Salzen entstehende Eisenoxyd kittet die Korborundkristalle zusammen. Ob hierbei auch eine chemische Reaktion zwischen den Bestandteilen vor sich geht, steht nicht fest. Acheson vermutet, daß hierbei ein Eisensilikat entsteht; Fitz-Gerald hält die Bildung eines Eisensilizids für wahrscheinlicher. In den Amerik. Pat. 650234/35³⁾ schlug Fitz-Gerald dann vor, Korborundkörner mit einem wasserhaltigen Klebstoffe, z. B. Leim, zu mischen und die Mischung in Formen zu pressen. Die so hergestellten Gegenstände werden dann in einem elektrischen Ofen auf die Bildungstemperatur des Korborunds erhitzt, so daß ein Umkristallisieren desselben stattfindet. Die neu entstehenden Kristalle verbinden sich hierbei untereinander so innig, daß der ganze Gegenstand eine feste dichte Masse bildet, die genau dieselbe Gestalt behält, in welche sie ursprünglich gepreßt wurde.

1) Amerik. Pat. 716008, Engl. Pat. 16122 von 1901.

2) Engl. Pat. 13049 von 1898.

3) Engl. Pat. 5242 von 1900.

Das zur Herstellung feuerfester Gegenstände benutzte meistens amorphe Karborund zeigte folgende Zusammensetzung:

Freier Kohlenstoff	4,63
gebundener Kohlenstoff	21,48
Silizium (insgesamt)	58,03
Aluminium	4,21
Eisen	1,52
Kalzium	1,22
Sauerstoff (durch Differenz)	8,91
	<hr/>
	100

Da feuerfeste Steine, aus Karborund allein hergestellt, doch zu teuer zu stehen kommen würden, um eine breitere Verwendung zu finden, versieht W. Engels (D. R. P. 118208 und 122840) gewöhnliche, hochfeuerfeste Schamottesteine mit einem Schutzüberzuge aus Karborund. Zu diesem Zwecke wird Karborund auf der Oberfläche der Steine unter Zuhilfenahme von Bindemitteln, wie Wasserglas oder Borsäure, verrieben. Waren die Steine noch nicht verglüht, so kann man sie mit reinem Karborund (also ohne Bindemittel) bestreuen, die Karborundschicht einpressen und brennen. Im übrigen hält es Engels für ratsamer, auch bei der letzterwähnten Arbeitsweise dem Karborund noch ein Bindemittel zuzufügen.

Schutzüberzug
aus Karborund
nach Engels

Besonders soll sich dies Verfahren zur Herstellung von Muffeln zur Zinkdestillation bewährt haben, und es soll Engels sogar gelungen sein, in solchen Muffeln bis zu 200 Tage zu arbeiten. Im Handel sind jedoch bis jetzt feuerfeste Karborundsteine oder -Gegenstände nur selten anzutreffen¹⁾, und der Verfasser kennt aus eigener Erfahrung nur die Produkte der bekannten französischen Firma Emile Muller & Cie., Ivry-Port bei Paris.

Arbeitsweise
von Em. Muller
& Cie

Über die dort geübte Anfertigungsweise der Karborundsteine geben die Patente dieser Firma eingehende Auskunft. Nach dem Franz. Pat. 392232 werden elektrisch leitende Körper erhalten, indem man Karborund mit Bindemitteln vermengt und zusammenpreßt. Folgender Rohsatz soll sich gut bewährt haben:

Karborund	72,8,
Petroleumkoks	9,8,
Teer	16,9,
Ruß	0,5.

1) Die „Arloffer Tonwerke“ in Arloff (Rheinland) stellen mit Karborund überzogene Steine nach den Patenten von Engels her.

Wenn die Gegenstände noch auf der Drehscheibe bearbeitet werden sollen, so empfiehlt sich ein Zusatz von Wasserglas; ein solches Rohgemenge weist dann folgende Zusammensetzung auf:

Karborund.	62,5,
Petroleumkoks	8,4,
Teer.	14,5,
Ruß	0,5,
Wasserglas	14,1.

Die daraus eventuell unter Zusatz von noch anderen Binde- und Magerungsmitteln (Tone, Kalk, Magnesia, Graphit) gepreßten oder geformten Gegenstände werden sehr hoch gebrannt. Sie zeigen dann eine homogene Struktur, sind gut leitend sowohl für Elektrizität wie für Wärme, unempfindlich gegen Temperaturwechsel und sind auch gegen mechanische Beanspruchung sehr widerstandsfähig.

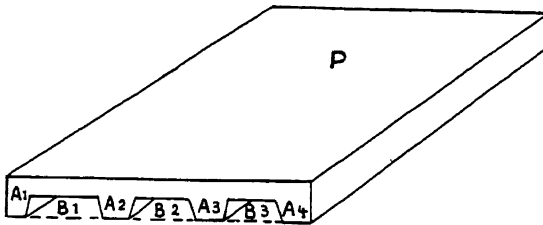


Fig. 82. Herstellung von Steinen mit einem Schutzüberzug.

In vielen Fällen genügt schon ein Überzug aus Karborund, und dann können die oben erwähnten Mischungen als Anstrichmasse benutzt werden. Bei Steinen mit einem Überzuge aus Karborund kommt es darauf an, daß der letztere am Steine fest haftet und sich nicht löst. Dies wird erreicht in folgender Weise (D. R. P. 164276).

Aus der Karborundmasse, bestehend aus einem Gemisch von 92 Teilen Karborund und 8 Teilen feuerfestem Ton, werden Platten *P* (Fig. 82) geformt und dieselben dann einem schwachen Druck ausgesetzt, der gerade ausreicht, um das Hantieren mit den Platten zu ermöglichen. Die Platte *P* wird sodann in senkrechter Lage gegen eine der Wände einer Form *M* (Fig. 83) gelegt, die man dann mit der für feuerfeste Schamottewaren gebräuchlichen Masse *C* beschickt, die zur Bildung des eigentlichen Ziegelsteines dient. Die Füllung erfolgt oberhalb eines Kolbens *D* einer hydraulischen Presse. Durch den Druck dieses Kolbens *D* gegen die abhebbare Platte *F* wird das Ganze zusammengepreßt (Fig. 84), wobei dem Umstande Rechnung getragen werden muß, daß die Verschiebung der Teilchen in *P* und *C* eine fortschreitende ist, d. h. daß die Druckwirkung in der Nähe der

Kolbenfläche *D* größer ist, als in der Nähe der Platte *F*. Um diese ungleichmäßige Druckwirkung abzuschwächen, werden die einzelnen Rippen der Platte *P* in verschiedenen Abständen und in verschiedener Stärke angebracht. Dies Verfahren gestattet auch, an mehreren Seiten der Ziegelsteine und dergl. solche Verblendflächen zu erzeugen. Der Patentanspruch lautet:

„Verfahren zur Herstellung von Ziegelsteinen und ähnlichen keramischen Waren mit Überzugs- oder Verblendmasse, insonderheit aus Karborund oder dergl. mittels der Presse dadurch gekennzeichnet, daß man die Verblendmasse zunächst in Form von Platten unter mäßigem Drucke vorformt, sie dann längs der Innenwand einer Preßform aufstellt, in welche auch die Tonmasse eingebracht wird, worauf man unter Anwendung eines beträchtlichen Druckes, der zu einer Formveränderung der Verblendplatte führt, die Tonmasse in Ausschnitte der Verblendplatte hineintreibt, während Rippen der Platte ihrerseits in die Masse eindringen, wodurch die Verblendmasse mechanisch festgehalten wird.“

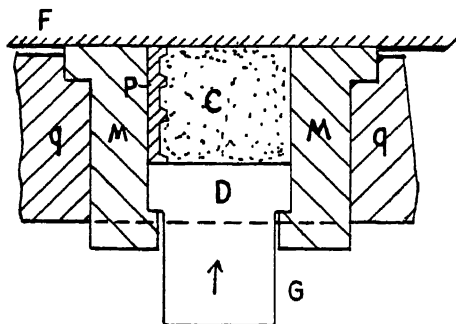


Fig 83

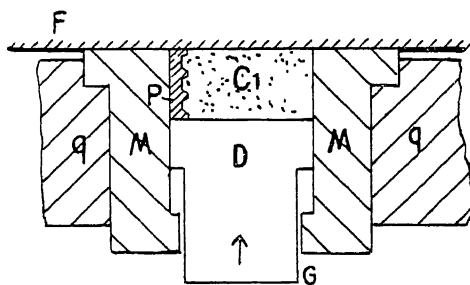


Fig 84

Herstellung von Steinen mit einem Schutzüberzug

Der Verfasser hatte Gelegenheit, mit einem nach diesem Verfahren hergestellten Stein einige Versuche anzustellen. Trotz des langen Transportes (Paris—Berlin) und der sehr primitiven Verpackung zwischen zwei Brettern (ohne Stroh oder Putzwolle) kam der Stein mit völlig unversehrten Rändern an. Die 10 bis 12 mm starke Karborundschicht ist mit der Schamotte fest verbunden, blättert nicht ab, und beim Durchhauen des Steines bleibt die Karborundschicht an den zugehörigen Teilen des Steines haften. Außer Steinen, die an einer oder mehreren Seiten mit Karborundschichten versehen sind, werden auch mit solchen Schutzschichten ausgekleidete Tiegel bis zu 400 kg Inhalt hergestellt. Aus den Druckschriften der

Firma (Société du Carborundum Emile Muller & Cie.) sei noch folgendes entnommen:

Karborund erwies sich als sehr widerstandsfähig gegen chemische Wirkungen aller Art; reiner Sauerstoff, Ozon, Schwefel üben selbst bei Temperaturen über 1000° gar keine Wirkung aus. Stundenlang in einer Atmosphäre von Chlor und Brom bei 1200° gehalten, blieb Karborund unangegriffen(?). Säuren (Schwefelsäure, Salzsäure, Salpetersäure) verhalten sich in allen Konzentrationen und selbst bei ihren Dissoziationstemperaturen dem Karborund gegenüber völlig inaktiv. Das gleiche Verhalten zeigte es bei allen praktisch in Betracht kommenden Temperaturen auch den meisten Salzen (Bisulfaten, Persulfaten, Chloraten, Nitraten usw.) gegenüber (vergl. S. 164).

Flüssiges Eisen, sowie schmelzende Alkalien lösen dagegen Karborund auf.

Karborund-
zement

In gleicher Weise wie mit Diamantin lassen sich auch mit Karborund hochfeuerfeste Schutzanstriche herstellen. Die bereits erwähnte Firma Muller in Paris und die Firma: Feuerfeste Industrie, G. m. b. H. in Düsseldorf, liefern zweierlei solcher „Zemente“, je nachdem, ob die Ofen-, Muffel- oder Retortenwandungen in glühendem oder in kaltem Zustande mit dem Anstrich versehen werden sollen. Die Schichtstärke beträgt dabei 1 bis 1,5 mm und erfordert pro Quadratmeter Fläche etwa 1,5 kg Karborundzement. Aus dem Umstande, daß das Zement stets ganz frisch und mit ganz reinem Wasser angemacht werden muß, ist zu schließen, daß es wohl etwas Wasserglas als Bindemittel enthält.

Die Urteile über die Wirkung der Schutzanstriche mit der von der Firma „Feuerfeste Industrie“ bezogenen Karborundmasse lauten recht günstig; so sollen sich diese Überzüge bewährt haben bei Gasanstalten für die Ofengewölbe und zum Flickern der Retorten, bei Koksöfen an den am meisten gefährdeten Stellen, in Metallgießereien für die Tiegelöfen wie für die Tiegel selbst, bei Brennmuffeln, beim Oberbau von Glasschmelzöfen (Hafenöfen), bei Kessel- und Dampfüberhitzerfeuerungen, Ausglühöfen, Warmbettofen, Eindampfpfannen usw. In den meisten Fällen bildet der Karborundanstrich eine wahre Emailleschicht, und die Ofenwände bleiben unter derselben völlig intakt. Schmelzende Kohlenasche frißt allerdings auch diesen Anstrich durch.

Durch die Amerik. Pat. 628288 u. 656708 schützte sich B. Talbot die Benutzung von Siliziumkarbid, zusammengehalten durch ein Bindemittel, wie Teer, als Ofenfutter für metallurgische Prozesse namentlich für Eisen und Stahl, was angesichts der Löslichkeit von Karborund

in geschmolzenem Eisen einigermaßen auffallend ist. Nach Talbot ist nur darauf zu achten, daß das Karborund keine freie Kieselsäure enthält, die direkt als Flußmittel wirken kann. Dagegen ist die Gegenwart von Graphit (herrührend von der Herstellung des Karborundes) nicht schädlich.

Das neuerdings zur Anwendung kommende Verfahren von E. Weber (D. R. P. 158496) zum Gießen von starkwandigen, feuerfesten Gefäßen, wie Glashafen, Schmelztiegeln, Retorten und Formsteinen (vergl. S. 23) soll, wie das Zusatzpatent 159193 ausdrücklich betont, auch das Vermischen der mittels Soda, Ammoniak, Wasserglas, Melasse, Seife und dergl. gußfähig gemachten Tonmassen mit Quarz, Graphit, Schmirgel und Karborund gestatten.

Webers
Gießverfahren.

Nach F. Bölling (D. R. P. 173066¹⁾) lassen sich Gegenstände, namentlich Heizkörper aus Karborund oder Borkarbid, in der Weise herstellen, daß die aus Kohle geformten Gegenstände, in fein gepulvertes Silizium- oder Borkarbid eingebettet, einem Glühprozeß unterworfen werden. Der hierbei aus den Karbiden erzeugte Bor- resp. Siliziumdampf durchdringt ganz oder teilweise — je nach der Dauer des Glühens — den Kohlenkern und bildet mit demselben von neuem Karbid. Die überschüssige Kohle aus der Mitte des Gegenstandes kann ausgebrannt werden.

Silund von
Bölling

Nach dem ebenfalls von F. Bölling herrührenden D. R. P. 183133 soll sich gezeigt haben, daß man das gleiche, wenn auch langsamere, so doch erheblich billiger erreichen kann, wenn man als Einbettungsmasse statt der teuren Karbide die Stoffe verwendet, aus denen diese Karbide erzeugt werden, nämlich ein Gemisch von Kohle und Sand oder Borsäure.

Es soll sich ferner herausgestellt haben, daß bei der Arbeitsweise nach dem oben besprochenen D. R. P. 173066 die Kohlenkörper leicht mit einer Kruste von Karborundkristallen, die man dann auf mechanischem Wege entfernen muß, sich bedecken. In dem D. R. P. 183134 wird dies darauf zurückgeführt, daß die angewendeten Einbettungen mehr Silizium bzw. Bor abgeben, als zur Umwandlung der Kohlenkörper in Karbidkörper nötig ist²⁾. Damit die Kohlenkerne nicht einer mit Silizium- oder Bordampf übersättigten Atmosphäre ausgesetzt sind, befinden sie sich während des Ausglühens „in Hohlräumen, welche in einer silizium- oder borreichen Masse ausgespart oder in bereits silizierten bzw. borierten Körpern gebildet sind“.

1) Amerik. Pat 801296.

2) Vergl. das „Karbosilizium“ von Potter, S. 177.

Die so behandelten Kohlenkörper haben nach ihrer Umwandlung in Karbidkörper keine Kruste, ihre Oberfläche ist nicht verändert, so daß etwa vorher auf den Kohlenkörpern angebrachte Zahlen, Fabrikmarken usw. deutlich sichtbar bleiben.

Dieses Verfahren scheint hauptsächlich zwecks Anfertigung von elektrischen Heiz- und Widerstandskörpern ausgearbeitet worden zu sein. Aus dem Engl. Pat. 13707 von 1904 der Frankfurter Firma „Prometheus“¹⁾ sei hierüber folgendes entnommen: Die Karbidkristalle werden fein gepulvert und in einem elektrischen Kohlenstabwiderstandsofen, dessen Temperatur unter der Erzeugungstemperatur des Karbids liegt, zusammengebacken und in einen kohärenten porösen Körper verwandelt. Statt der Karbide können die entsprechenden Rohstoffe benutzt werden. Die mechanische Festigkeit der Körper wird erhöht, wenn man sie in schwer schmelzbare Emaille taucht und dann brennt. Oder man fügt zu den Rohstoffen Fluß- und Bindemittel wie Borsäure, zu, preßt die Masse dann stark und brennt sie schließlich bei hoher Temperatur, aber unterhalb ihres Schmelzpunktes. So z. B. wurden 9 Teile Karborundkristalle und 1 Teil Borsäure zusammengepreßt und auf 1200° erhitzt. Das Produkt leitete den elektrischen Strom so gut, daß ein Körper von 80 mm Länge und 8 × 8 mm Querschnitt für eine Spannung von 72 Volt benutzt werden konnte. Wird Borsäure durch Feldspat ersetzt, so steigt die elektrische Leitfähigkeit noch mehr.

Die Arbeitsweise von Bölling erinnert an die Zementation von Stahl: wie beim Erhitzen von Eisen im Kohlenpulver der Kohlenstoff in den Eisenkörper einwandert, so dringt hier das Silizium den Kohlegegenstand mehr oder weniger durch. Die auf diese Weise silizierten Kohlenröhren, Stäbe, Platten und dergl. gelangen unter dem Namen Silund in den Handel. Silundgegenstände zeigen das gleiche chemische Verhalten wie solche aus Karborund und können auf etwa 1600° erhitzt werden, ohne zu verbrennen. Mit dem Silizierungsgrade nimmt die elektrische Leitfähigkeit etwas ab.

1) Nach Angaben des D. R. P. 195533 dieser Firma kann die Herstellung von Gegenständen aus Silizium- oder Borkarbid nach den soeben besprochenen Bollingschen Patenten beschleunigt werden, indem man der Kohle Karborund, Quarzsand oder reines Silizium zusetzt. Die aus solchem Gemenge geformten Stücke werden bei etwa 1200° vorgebrannt und dann, in einer Mischung von Kohle und Sand oder im amorphen Karborund eingebettet, elektrisch bei etwa 2000° gebrannt.

B. F. Gardner¹⁾ gibt folgende Vorschrift zur Herstellung von Heizwiderständen, Rheostaten usw. aus Karborund an: man nimmt ein trockenes Gemisch von 50 % Graphit, 25 % Karborund und 5 % Schwefel auf 20 % Gummi, das durch heiße Walzen plastisch gemacht war, walzt weiter bis zur vollständigen Aufnahme, preßt in eine geeignete Form, vulkanisiert und brennt im Sande, bis aller Schwefel ausgetrieben und das Gummi verkohlt ist. Das Material, das die Form behält, ist sehr hart, dicht und unschmelzbar. Die Mischungsverhältnisse ändern sich je nach dem verlangten Widerstande.

Karborund-
widerstände
von Gardner.

Zur Darstellung von Borkarbid benutzten A. Tucker und W. Bliß²⁾ einen Lichtbogen, bei dem den einen Pol der Graphitiegel, den anderen ein in den Tiegel herabhängender Graphitstab bildeten. Wegen der leichten Flüchtigkeit der Borsäure wurde der als Kohle benutzte Petroleumkoks auf den Boden des Tiegels gelegt, während die Borsäure durch eine Durchbohrung der senkrechten Elektrode zugeführt wurde. Das erhaltene Produkt leitet die Elektrizität, ist härter als Siliziumkarbid und widersteht der Einwirkung aller gebräuchlichen Säuren. Schmelzendes Alkali zersetzte es unter Entwicklung von Kohlenoxyd. Starke Oxydationsmittel, wie heiße Salpetersäure mit Kaliumchlorat und siedende Schwefelsäure, waren ohne Einfluß. Beim Erhitzen auf Rotglut an der Luft blieb die Substanz unverändert. Die Analyse ergab einen Gehalt von 82,8 % Bor. Dem Borkarbid B_6C entsprechen 84,6 % Bor. Sein spezifisches Gewicht ist 2,7. Tucker will das Borkarbid hauptsächlich für Glühlampenfasern und Widerstände benutzen. Sein Amerik. Pat. 869114 bringt außer Abbildungen im Vergleich zu den obigen Ausführungen nichts Neues.

Borkarbid
nach Tucker
und Bliß.

Bei Sättigung von Karborund mit Silizium entsteht nach N. H. Potter³⁾ Karbosilizium ($Si_2C?$), das nicht porös, härter als Karborund und sehr zähe ist.

Karbosilizium
von Potter.

Ein verwandter Körper wird sich wohl bilden auch bei dem von der Firma Gebrüder Siemens & Co. herrührenden Verfahren, geformte feste Körper (D. R. P. 177252⁴⁾) und Elektroden aus Siliziumkarbid (D. R. P. 179211) herzustellen. Laut den dort gemachten An-

Verfahren von
Gebr. Siemens
& Co.

1) Electrochemical and Metallurgical Industry 1905, Bd. 3, S. 197; Elektrochem. Technik 1905, Stichwort 1365.

2) Journ. Americ. Chem. Soc., Bd. 28, S. 605; Electrochemical and Metallurgical Industry 1907, S. 469 und Zeitschr. f. angew. Chemie 1907, S. 403.

3) Electrochemical and Metallurgical Industry 1905, Bd. 3, S. 183; Elektrochem. Technik 1905, Stichwort 1354.

4) Engl. Pat. 21347 von 1905

gaben läßt sich die Herstellung von Gegenständen aus Karborund nur unter Anwendung von viel Bindemittel durchführen und infolgedessen haben die Gegenstände eine nur geringe Festigkeit, sehr große Porosität und sehr geringe elektrische Leitfähigkeit. Die Aufgabe, Gegenstände (Stäbe, Röhren und dergl.) aus Siliziumkarbid herzustellen, welche nicht nur gute elektrische Leitfähigkeit, sondern große Dichte, mechanische Festigkeit und Widerstandsfähigkeit gegen chemische Einwirkungen besitzen und feuerfest sind, kann dadurch gelöst werden, daß dem Siliziumkarbid freies Silizium zugesetzt wird. Die beiden Stoffe werden möglichst innig unter Zusatz von Glyzerin oder anderen verkohlbaren oder flüchtigen Bindemitteln, eventuell auch unter Zusatz von Borsäure (die allerdings in den Gegenständen verbleibt) möglichst innig gemengt und verformt. Bei Anwendung von Glyzerin wird die Masse sehr plastisch und schlüpfrig, so daß sie auch gut in Stränge oder Fäden gespritzt werden kann. Die geformten Gegenstände werden dann im elektrischen Ofen sehr stark erhitzt, bis die Masse zu einem möglichst einheitlichen, nicht porösen Körper zusammenfrittet. Der so erhaltene Körper zeigt eine völlig homogene, kristallinische und von den Ausgangsmaterialien verschiedene Struktur, so daß man wahrscheinlich hier wie bei Potter eine Art von Karbid niederer Ordnung vor sich hat.

Siloxikon von
Acheson

Bei Herstellung von Karborund beobachtete Acheson, daß beim Überschuß von Kieselsäure (Sand) eine Verbindung entsteht, die neben Silizium und Kohlenstoff noch Sauerstoff enthält. So erhielt er z. B. die Verbindung Si_2C_2O , die bereits Colson¹⁾ durch Oxydation einer Kohlenstoffschwefelsiliziumverbindung dargestellt hat.

Durch entsprechende Änderung in der Zusammensetzung des Rohgemenges erhielt Acheson (D. R. P. 160101²⁾) eine Masse, deren Zusammensetzung zwischen Si_2C_2O und Si_7C_7O schwankt und für die er den Namen Siloxikon gewählt hat. Die Entstehungstemperatur dieses Körpers liegt etwas oberhalb 2000° C. (zwischen 3500 und 4000° F.). In neutraler oder reduzierender Atmosphäre bleibt er bis zu Temperaturen von etwa 3000° C. unverändert; dann entweicht Sauerstoff bzw. Kohlenoxyd, und es bleibt das ebenfalls hochfeuerfeste Siliziumkarbid zurück. Bei Luftzutritt erhitzt, zersetzt sich Siloxikon (wie auch Karborund) gegen 1500° wahrscheinlich zu Kieselsäure und Kohlenoxyd, wobei die Ziegel aus Siloxikon verglasen.

1) Compt. rend. de l'académie (Paris), Bd. 94, 1882, S 1526.

2) Amerik. Pat. 723631, 722792, 722793; Franz. Pat. 329778.

Die Fig. 85 zeigt den Längsschnitt eines Siloxikonofens, die Fig. 86 die Wärmeverteilung in demselben. Die lichten Maße des Ofens sind: 140 cm Länge, 50 cm Breite, 37 cm Höhe. Die Beschickung besteht aus 2 Teilen Sand, 1 Teile Koks und etwas Sägemehl, damit die Mischung etwas porös bleibt. Die beiden Kerne *cc* sind aus Koksgrieß, von 7 bis 8 cm Durchmesser. Beim Beginn des Erhitzens beträgt die Stromstärke 500 Amp bei 85 Volt. Die Spannung bleibt während der etwa 9 Stunden langen Brenndauer fast unverändert und auch die Stromstärke steigt nur bis auf etwa 600 Amp.¹⁾ Nach der Abkühlung findet man um die Elektroden-

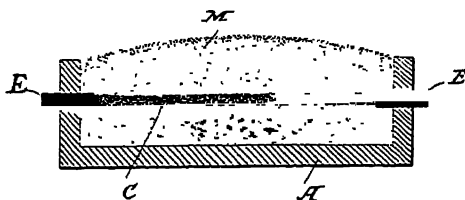


Fig. 85 Ofen zur Herstellung von Siloxikon.

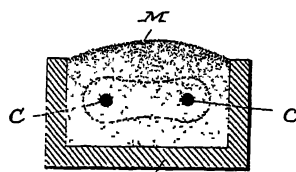


Fig. 86 Wärmeverteilung in einem Siloxikonofen

kerne *cc* eine amorphe, graugrüne (bei 160⁰ C. gelb erscheinende) Masse, bestehend aus:

Silizium	. . . . .	57,7 %
Kohlenstoff	. . . . .	25,9 "
Eisen	. . . . .	2,1 "
Aluminium	. . . . .	0,4 "
Sauerstoff (ermittelt durch Differenz)	. . . . .	13,9 "

Diese Masse wird gemahlen, mit Wasser angefeuchtet, in die gewünschte Form gebracht und gebrannt. Die so erhaltenen, hochfeuerfesten Steine werden selbst vom flüssigen Eisen nicht zerfressen und widerstehen dem Angriff der Säuren und der alkalischen Lösungen; das spezifische Gewicht beträgt 2,73.

Wahrscheinlich beim Suchen, die Plastizität des sonst wenig plastischen Kaolins zu erhöhen, um auf diese Weise schon mit geringen Zusätzen von Kaolin das gänzlich unplastische Siloxikon verarbeiten zu können, kam Acheson darauf, dem Kaolin 1 bis 2 % gerbstoffhaltige Materialien, wie z. B. Gallussäure, Katechu usw., zuzusetzen, wodurch die Bildsamkeit der Tone wesentlich vergrößert wird (D. R. P. 155513, vergl. S. 21).

1) Im Amerik. Pat. 723631 wird ein Ofen beschrieben von gleicher Länge, aber von 62 × 62 cm Querschnitt mit vier Kernen. Das Brennen dauert in demselben 12 Stunden, und es beansprucht bei 80 Volt etwa 1500 Amp.

„Weißmasse“

Ein dem Siloxikon nahe verwandtes, möglicherweise mit demselben identisches Produkt ist die sogen. „Weißmasse“ („white stuff“), welches in den nicht genügend heißen Teilen des Karborundofens entsteht und den Karborundkern umgibt (vergl. S. 166).

Diese Weißmasse läßt sich in gleicher Weise wie Karborund und Siloxikon zu Gegenständen pressen. Man erhält nach dem Brennen eine zusammenhängende Masse, die aber nicht so fest und viel poröser ist, als die aus Karborundkörnern hergestellte.

Arbeitsweise
von Tone

Zur Verarbeitung dieser Masse auf feuerfeste Steine empfiehlt F. J. Tone (Amerik. Pat. 709808) die Benutzung von Leim, Wasserglas und ähnlichen Bindemitteln und das Formen der Gegenstände unter hohem Drucke. Wahrscheinlich infolge ihrer Porosität zeichnen sich die Steine durch hohe Widerstandsfähigkeit den Temperaturschwankungen gegenüber aus.

F. J. Tone soll es auch gelungen sein, aus dieser Masse feuerfeste Ziegel ganz ohne Bindemittel herzustellen (Amerik. Pat. 772262).

Arbeitsweise
von Gaster

Auch nach L. Gaster¹⁾ bindet Siloxikon bei hoher Temperatur schon von selbst. Besser aber ist es, dies Produkt mit etwa 2 0/0 Tonerde gemischt bei einer Temperatur von etwa 1500 0 zu brennen. Durch Zusatz von plastischem Ton (etwa 5 0/0) nimmt die mechanische Festigkeit der Steine zu. Bei Ofenausfütterungen wird Siloxikon mit Wasserglas oder Teer angemacht und im Ofen selbst gebrannt.

Arbeitsweise
von Seaboldt

B. Seaboldt (Amerik. Pat. 796459²⁾) empfiehlt bei der Herstellung von Gegenständen aus Siloxikon neben der Anwendung gewöhnlicher Bindemittel noch einen Zusatz von flüchtigen Flußmitteln, die beim Verdampfen auf die Siloxikonkörner verkittend wirken. In den Patentschriften werden als typisch folgende vier Satze für das Gemenge angegeben:

	Gewichtsteile			
	I	II	III	IV
Siloxikon	90	90	90—95	90—95
Ton (40 Al_2O_3 , 50 SiO_2	7	9	2—7	2—5
Sägemehl und dergl.	1	1	—	1,5—2
Kochsalz	2	—	2	1—2
Wasserglas	—	—	1	0,5—1

Das Verrühren mit Wasser muß sehr sorgfältig ausgeführt werden, woraufhin das feuchte Gemenge mindestens 24 Stunden sich selbst überlassen wird.

1) Transact. Faraday Soc. 1905, Bd 1, S. 118; Elektrochem. Techn. 1905, Stichwort 1263.

2) Franz. Pat. 357639; Engl. Pat. 17890 von 1905.

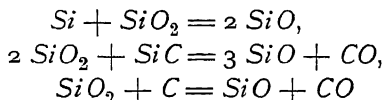
Das Engl. Pat. 22898 (1902) von W. W. und J. S. Hollings, in dem die Anwendung von siloxikonähnlichen Körpern (SiC_2O_2 , $SiCO_2$, Si_2C_2O , $Si_2C_3O_2$) für sich allein oder mit Magnesit, Dolomit, Quarz usw. vermengt zur Ausfütterung metallurgischer Öfen empfohlen wird, bietet kein weiteres Interesse.

Verfahren von Hollings.

Trotz der angeblich leichten Verarbeitungsfähigkeit des Siloxikons zu feuerfesten Produkten, dürfte dieses Produkt in Europa wenigstens bis jetzt keine nennenswerte Verwendung gefunden haben.

Wird ein Gemisch von Kieselsäure mit Silizium etwa auf 1000° erhitzt, so findet keinerlei Reaktion statt. Cl. Winkler, der diesen Versuch ausgeführt hatte, folgerte daraus, daß Silizium mit Sauerstoff nur die Verbindung SiO_2 bildet. H. N. Potter¹⁾ wiederholte diesen Versuch, wobei er jedoch das Gemisch in einem Lichtbogenofen erhitzte; er beobachtete hierbei die Entwicklung von braunen, sich leicht kondensierenden Dämpfen, die er für Siliziummonoxyd hält. Statt Silizium kann man auch Kohle sowie Siliziumkarbid nehmen. Die Bildung von Siliziummonoxyd oder von „Monox“, wie Potter die neue Substanz benannte, verläuft dabei nach folgenden Gleichungen:

Monox von Potter.



Dieses hellbraune Kondensat zersetzt, solange es frisch ist, Wasser unter Wasserstoffentwicklung. Es ist ganz undurchsichtig; sein spezifisches Gewicht ist etwa 2,191; beim Erhitzen in Gegenwart von Luft verbrennt es unter bedeutender Wärmeentwicklung. Potter halt die neue Substanz für geeignet zur Herstellung von gut deckenden Anstrichfarben, Tinten und als Versatz für Emailen in der Keramik.

Alle die hier besprochenen neuen Magerungs- und Versatzmittel, gleichviel ob sauren oder basischen Charakters, weisen, allein für sich angewendet, eine wohl fast für alle Zwecke genügende Feuerbeständigkeit auf. Es kommt nur darauf an, daß durch Anwendung ungeeigneter Bindemittel diese Feuerfestigkeit nicht gar zu stark heruntergedrückt wird. Die große Meinungsverschiedenheit über die Anwendungsgebiete und Anwendungsweisen dieser Materialien,

Schlußfolgerungen über die Verarbeitung der neuen Produkte des elektrischen Ofens.

1) Electrochemical and Metallurgical Industry 1907, S. 442. Vergl. Amerik. Patent 908 130, wo neben der Herstellung von karbidfreiem Silizium auch die Entstehung von Monox behandelt wird.

welche in der Fach- und Patentliteratur zum Ausdruck kommt, dürfte vielleicht ihren Grund darin haben, daß manche Erfinder und Hersteller dieser neuen Materialien ungenügende Übung in keramischen Arbeiten haben dürften und mitunter zu längst überholten Arbeitsweisen griffen. Um so mehr Interesse bieten daher die in der Chemisch-Technischen Versuchsanstalt bei der Berliner Porzellanmanufaktur gemachten Erfahrungen mit der Verarbeitung der neuen Produkte des elektrischen Ofens¹⁾:

Erfahrungen in
der Chemisch-
Technischen
Versuchsanstalt
der Berliner
Kgl. Porzellan-
manufaktur

„Für Herstellung hochfeuerfester Gegenstände kommen Ton und Kaolin, die bequemsten Bindemittel, um sowohl Verformung und Formhaltung im rohen, als auch genügende Festigkeit im gebrannten Zustande zu erzielen, oft nicht mehr in Betracht, denn die zur Erfüllung dieser drei Aufgaben benötigte relativ große Tonmenge würde die Schwerschmelzbarkeit der Masse herunterdrücken. Verschlimmert wird dies Verhalten noch durch die Tatsache, daß gerade hochfeuerfeste Materialien, wie Magnesia und einige andere Oxyde, mit Ton zusammen leicht schmelzbare Gemenge ergeben.“

„Um nun ohne Verwendung toniger Bindemittel doch den Massen aus schwer schmelzbaren Stoffen die genannten notwendigen drei Eigenschaften zu geben, kann man verschiedene Wege gehen, bei denen zumeist die einzelnen Aufgaben von mehr als einem Zusatzmittel erfüllt werden.“

„Als Mittel zur Erhöhung der Formbarkeit hat man die bekannten organischen Bindemittel, wie Stärke, Mehl, Dextrin, Gummi, Leim und dergl. und die Beimengung feineren Materials derselben Art oder eines Stoffes, der für sich und in Verbindung mit dem fraglichen Material eine genügende Schwerschmelzbarkeit aufweist. Auch der Zusammenhang nach dem Brande wird durch diese Zugabe durchweg erhöht, da die Aschenbestandteile der Klebemittel und die Beimengung feineren Materials das Zusammenbacken in gleicher Weise fördern.“

„Als Mittel, nach dem Trocknen des Gegenstandes seine Haltbarkeit zu sichern und im Feuer ein Zusammenbacken schon bei niedriger Temperatur zu erreichen, wird vielfach Wasserglas verwendet. In kleinen Mengen angewandt, beeinträchtigt es auch die Schwerschmelzbarkeit nicht, wohl weil bei den höchsten Temperaturen seine beiden Bestandteile sich verflüchtigen. Ein bequemer Feuerkitt ist wasserfreie Borsäure, Boraxglas, eine Glasur oder dergl.;

1) M. Simonis, Sprechsaal 1907, S. 395.

sie setzen jedoch die Standfestigkeit im Brand sehr herab und erhöhen die elektrische Leitfähigkeit beträchtlich. Fast stets wird man jedoch diese Hilfsmittel entbehren können, weil bei richtiger mechanischer Vorbehandlung und Massenzusammensetzung auch die schwer schmelzbaren Materialien schon weit unter ihrem Schmelzpunkt so zusammensintern bzw. -backen, daß sie für sich allein den genügenden Zusammenhang ergeben.“

„Aus gebrannter, gesinterter oder geschmolzener Magnesia, reiner Tonerde, natürlichem Korund, Schmirgel und künstlich geschmolzener Tonerde, Zirkon, Chromeisenstein, Karborund, dessen Zwischenprodukten und Mischungen aus diesen und ähnlichen Stoffen lassen sich ohne tonige Bindemittel Gegenstände herstellen, bei denen allerdings in der Formgebung Schwierigkeiten zu überwinden sind, die aber große Widerstandsfähigkeit gegen hohe Temperaturen aufweisen. Ferner die Unempfindlichkeit gegen starke Temperaturschwankungen ist bei Verwendung auch grobkörnigen Materials bei Gegenständen aus geschmolzener Magnesia, natürlichem und künstlichem Korund, Karborund usw. eine hervorragende.“

Das gleiche Thema behandelte auch E. Kilburn Scott¹⁾. Er teilt die feuerfesten Materialien in vier Klassen ein: 1 Kohlenstoff für die höchsten Temperaturen; 2. Siliziumkarbide, wie Karborund oder kristallisiertes SiC , amorphes SiC und Siloxikon; 3. Magnesia, im elektrischen Ofen hergestellt und 4. gewöhnliche feuerfeste Ziegel und Magnesitsteine. Es ist durchaus nicht notwendig, daß die feuerfesten Futter durch und durch homogen sind; Überzüge von etwa 0,5 mm Dicke sollen sogar bedeutend bessere Resultate liefern. Karborund wird zu diesem Zwecke fein vermahlen und mit Wasserglas im Verhältnis von 3 : 1 dem Gewichte nach vermengt, worauf es auf die gehörig abgebürsteten feuerfesten Steine in etwa 0,5 mm Dicke aufgetragen wird. Nach 24stündigem Trocknen wird mit dem Feuern allmählich begonnen. Zum Überziehen von Eisen und anderen Metallen wird das Karborund mit Wasserglas im Verhältnis von 2 : 1 gemischt. Hier muß das Metall jedoch beständig heiß gehalten werden, da beim Abkühlen der Überzug abplatzt. Die Temperaturgrenze für die Verwendung von Karborund ist erreicht, wenn es in Silizium und Graphit sich zu zersetzen beginnt.

Ansichten von
K. Scott

Der gegenwärtig angewendete Magnesit kommt zumeist aus Steiermark, Euböa, Kalifornien und Salem im südlichen Indien her.

1) Electrochemical and Metallurgical Industry 1905, S. 140 und Zeitschr. f. angew. Chemie 1906, Bd. 19, S. 103.

Die charakteristischen Vorzüge des kalzinierten Magnesitfutters sind: Haltbarkeit, Abwesenheit von Kieselerde, Freisein von Feuchtigkeit und Widerstandsfähigkeit gegen Einwirkung basischer Schlacken und metallischer Oxyde. Scott hält die Temperatur in den modernen Schachtkalzinirofen für ungenügend, um ein vollständiges Sintern des Magnesiumkarbonates zu erzielen, und erhielt sehr zufriedenstellende Resultate beim Behandeln von Magnesit im elektrischen Ofen (in Meraker in Norwegen).

V. Gl i r t u d chmol hochf u r f t r g i .

Wie bei der Besprechung der Verfahren von Engels und von Muller & Co. (S. 171) hingewiesen wurde, kommt es vielfach gar nicht darauf an, daß die Ausfütterung der Öfen durch und durch aus höchst widerstandsfähigen Materialien besteht, sondern es genügt, daß die Oberfläche der Ausfütterung unangreifbar bleibt, um den ganzen Stein zu schützen. Auf diesem Gedankengange beruht auch die Anwendung des Diamantin als Schutzschicht. Einer der ersten, der durch Erzeugung einer Art Glasurschicht die Ausfütterung der Öfen schützen wollte, war wohl P. Askenasy (D. R. P. 91732).

Verfahren von
Askenasy.

Um Schamottesteine sowie aus Schamotte angefertigte Tiegel zu glasieren, läßt Askenasy auf ihre Oberfläche einen zwischen Kohlenspitzen spielenden Lichtbogen einwirken; die so ohne Zusatz besonderer Glasurmittel behandelten Gegenstände sind säure- und alkalifest und sollen chemischen Einwirkungen sogar bei einer viel höheren Temperatur als im unglasierten Zustande widerstehen. Man kann sich diesen Vorgang derart erklären, daß die Schamotte unter dem Einfluß der außerordentlichen Hitze bis zu einer bestimmten Tiefe schmilzt, und daß die so erzeugte Kruste den Kern des Steines gegen chemische Einflüsse schützt. Die Stärke dieser Schicht hängt lediglich von der Stärke und Einwirkungsdauer des verwendeten elektrischen Stromes ab.

Der Flambbogen wird dabei ähnlich wie beim elektrischen Löten vorteilhaft durch einen Magneten auf die zu glasierende Stelle gerichtet.

Wenn man eine besondere Glasur oder Emaille verwendet, so streut man dieselbe in Pulverform oder schmiert die zum dünnen Brei verrührte Masse zunächst auf die zu glasierenden Stellen auf und brennt sie, wie oben beschrieben, elektrisch ein; auch kann man sie zunächst in gewöhnlicher Weise im Porzellan- oder Emaillofen anbrennen und hierauf elektrisch weiter brennen. Man erhält

unter allen Umständen eine sehr feste Verbindung zwischen Körper und Glasur, und es gelingt auf diese Weise, sogar eine Glasur aufzubrennen, die weit schwerer schmelzbar ist, als der zu glasierende Körper.

Nach diesem Verfahren können auch ganze Schmelz-, Pyrit- und Emaillieröfen säure- und hitzebeständig gemacht werden, indem man sie in gewöhnlicher Weise aus Steinen mit Mörtel aufbaut und hierauf die Innenwände der Öfen oder eventuell auch nur die Mörtelfugen mit einem Lichtbogen bestreicht. Auf dieselbe Weise soll es möglich sein, gesprungene Gefäße wieder zu flicken.

Verfahren von
Engels.

Statt dieser Arbeitsweise empfiehlt W. Engels (D. R. P. 105290), die Oberfläche der Gegenstände mit Karborund oder anderen Karbiden

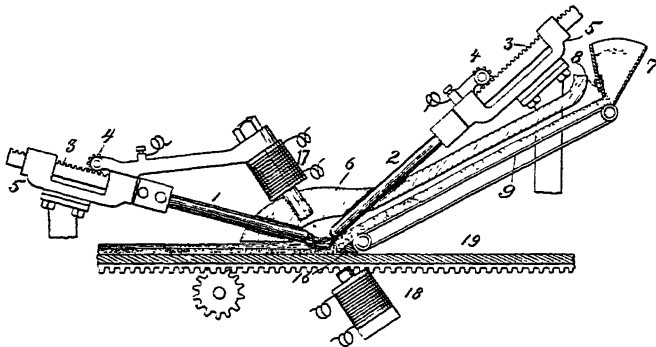


Fig 87 Ein durch einen Elektromagneten angeblasener Lichtbogen zum Einschmelzen

oder mit deren Ausgangsmaterialien zu bestreuen und diese Schicht durch Bestrahlung mit dem Lichtbogen derart zum Schmelzen zu bringen, daß auf der Oberfläche der Gegenstände eine Karborundschicht aufgeschmolzen wird. Wie aus den späteren, bereits besprochenen Patentschriften Engels hervorgeht, hat sich diese Arbeitsweise jedoch nicht bewährt.

Vorrichtung von
Raddatz

Eine brauchbare Illustration für die von Askenasy und Engels gedachte Arbeitsweise bringt das Amerik. Pat. 775282 von R. Raddatz (Fig. 87), das allerdings einen elektrischen Schmelzofen betrifft.

Das Rohmaterial wird durch einen Flambogen, der zwischen den Elektroden 1 und 2 spielt, erhitzt und zum Teil geschmolzen. Dank der Anwendung der Elektromagnete 17 und 18 wird die ganze Hitze des Flambogens auf das Brenngut konzentriert; die erhitzte Luft bestreicht beim Entweichen das anrückende frische Material und wärmt es vor.

Statt der Elektromagnete kann mit dem gleichen Effekte auch die Gebläsevorrichtung 23 (Fig. 88) angewendet werden, durch die Luft, Wasserdampf, sowie auch allerlei Chemikalien in Pulverform in den Flambbogen hineingeblasen werden können.

Gelegentlich des Internationalen Kongresses für angewandte Chemie 1903 demonstrierte O. Frölich einen schmalen, langlichen Ofen, an dessen Wänden mittels des Lichtbogens eine elektrisch leitende Schicht angeschmolzen war. Sobald der Ofen eingeschaltet wurde, wurde die auf den beiden Längswänden aufgetragene Schicht glühend. Näheres hierüber vergl. die D. R. P. 148457 und 171309. Es ist anzunehmen, daß die leitende Schicht aus Karbiden und

Verfahren von
Frölich

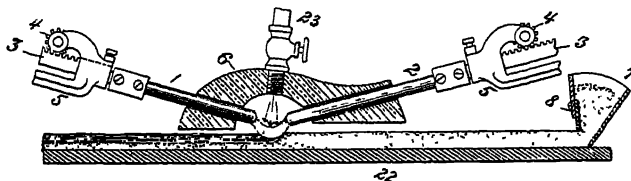


Fig. 88 Anblasen eines Lichtbogens durch ein Gebläse

Siliziden bestand¹⁾ Technische Bedeutung dürften diese Öfen bis jetzt nicht erlangt haben

Wie an anderer Stelle (S. 20) bereits ausgeführt, besteht der wesentliche Unterschied zwischen den verschiedenen keramischen Gewerben einerseits und der Glaserzeugung andererseits darin, daß bei den ersteren die endgültige Formgebung vor dem Brennen geschieht und auf der Plastizität der wasserhaltigen Tonmassen beruht, während bei Glas die Formgebung an der feuerflüssigen, im Erstarren begriffenen Schmelze vorgenommen wird.

Beim Erhitzen mittels Elektrizität und bei gewissen chemischen Reaktionen (wie z. B. bei Verbrennung von Aluminium) ist es, wie wir bereits gesehen haben, möglich, auch die feuerbeständigsten Tone und Mineralien, wie Quarz, Magnesit, Bauxit, ja sogar reine Tonerde in größeren Massen zu schmelzen und die feuerflüssigen Massen in bestimmten, allerdings nur sehr einfach gehaltenen Formen erstarren zu lassen. Die so erhaltenen Gegenstände haben mitunter

Gegenstände
aus
geschmolzenen
keramischen
Massen

1) Z. f. Elektroch. 1903, S 628 Nach dem D. R. P. 171309 von O. Frölich kann man, statt eine solche Schicht durch das Aufschmelzen zu erzeugen, die Ofenwände durch einen Anstrich mit gewissen elektrisch leitenden Mineralien, wie z. B. Rotzinkerz, Franklinit, Zinnstein, schon in der Kälte leitend machen.

glasigen Bruch und sind in dünneren Schichten durchscheinend. Meistens enthalten sie zahlreiche winzige Luftbläschen, da die Schmelze gewöhnlich nicht dünnflüssig genug ist, um die Luftbläschen entweichen zu lassen.

Auf diese Weise entstand in den letzten Jahren ein Grenzgebiet zwischen den eigentlichen keramischen Industrien und der Glasfabrikation, in welches die Herstellung von Gegenständen gehört, die (ohne Zuhilfenahme von Bindemitteln und ohne nachheriges Brennen) aus geschmolzenen Tonen, Aluminium-, Magnesium- oder Eisenoxyd, sowie aus Quarz gepreßt oder gegossen werden. In der Regel eignet sich das gleiche Verfahren und die nämliche Arbeitsweise zum Schmelzen aller dieser so hochfeuerfesten Verbindungen, sofern das Verfahren an und für sich gut ist. Nur ist zu berücksichtigen, daß Quarz verhältnismäßig leicht flüchtig ist und in Gegenwart gewisser Metalle, z. B. des Eisens, leicht Ferrosilizium und ähnliche Verbindungen geben kann. Am unempfindlichsten gegen Kohlenstoff scheint Magnesia zu sein, so daß es z. B. Moissan nicht gelungen ist, ein Magnesiumkarbid zu erhalten, wohl aber ein Aluminiumkarbid und andere analoge Metallkarbide.

Die verschiedenen, hier zu besprechenden Verfahren¹⁾ bezwecken, das Ausgangsmaterial umzuschmelzen und der im Erstarren begriffenen Masse eine bestimmte Form zu verleihen. Durch das Umschmelzen werden die Massen dicht und daher außerordentlich widerstandsfähig gegen allerlei chemische Angriffe. Die Zusammensetzung der Materialien in chemischer Beziehung ändert sich während dieses Fabrikationsganges nur unwesentlich und eine solche Änderung wird auch gar nicht bezweckt. Eine Ausnahme hiervon bildet das Verfahren von B. Jacobs (Amerik. Pat. 711319). Als Rohmaterial benutzt Jacobs feuerfeste Tone, also Aluminiumsilikate bzw. Kaoline. Diese werden in dem mit einem Elektrodenpaar *cc* versehenen elektrischen Ofen (Fig. 89) geschmolzen. Die Masse wird durch Lichtbogen- oder Widerstandstrom längere Zeit flüssig gehalten, wobei ein Teil der Kieselsäure verdampft, so daß z. B. aus Kaolin ($Al_2O_3 \cdot 2 SiO_2$) ein Monosilikat ($Al_2O_3 \cdot SiO_2$) entsteht.

1) Die Verfahren, die sich ausschließlich auf Herstellung von geschmolzenem Quarz beziehen, gelangen im Abschnitt „Quarzglas“ zur Erörterung, dagegen Patentschriften, die sich ganz allgemein mit der Herstellung von geschmolzenen Gegenständen aus feuerfesten Materialien befassen und das Schmelzen von Sand oder Quarz nur als Beispiel anführen, werden hier besprochen.

Nach Angaben der Patentschrift gelingt es mit etwa 100 Volt und 1500 Amp. (also 150 Kilowatt), in 20 Minuten 100 kg Kaolin zu schmelzen und in noch weiteren 40 Minuten ein Monosilikat zu erhalten. Die verdampfende Kieselsäure, die dank ihrer außerordentlichen Feinheit vielerlei Verwendungen zulaßt, wird aufgefangen. Die Schmelze wird dann durch das Abstichloch *d* in Gießformen verteilt. Es empfiehlt sich, die letzteren aus Metall anzufertigen, weil dann an den inneren Wandungen sich sofort eine

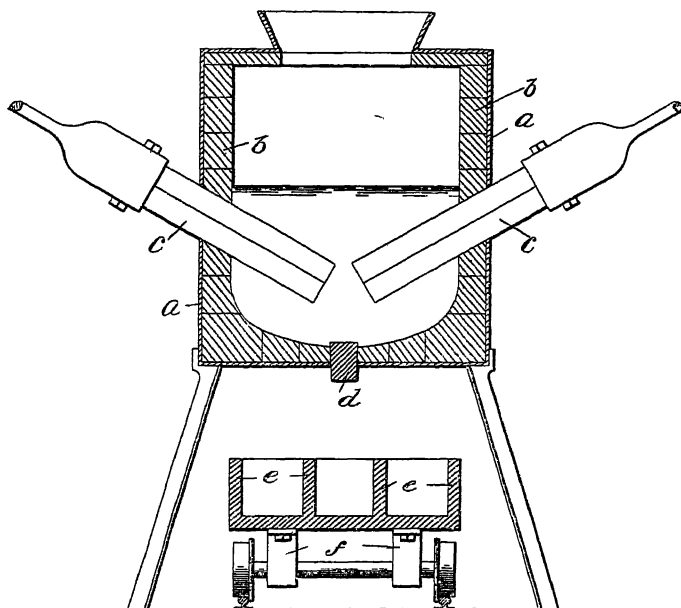


Fig 89. Ofen von Jacobs.

Kruste bildet, wodurch die Formen vor dem Überhitzen und Schmelzen geschützt werden. Beim Gießen in nicht metallische Formen vereinigt sich gewöhnlich die Schmelze mit dem Material der Form zu einer kompakten Masse.

Gelegentlich der Erörterung über die Herstellung von künstlichem Korund wurde bereits das sogen. Thermitverfahren¹⁾ von H. Goldschmidt erwähnt, das den ersten Anstoß zu Studien über den günstigen Einfluß des Zusatzes von Korund zu keramischen Massen gab. Aus dem bei dem Thermitverfahren durch Verbrennen von Aluminium entstehenden feuerflüssigen Aluminiumoxyd können laut dem D. R. P. 104928 der Allgemeinen

Verfahren der
Thermit-
Gesellschaft.

1) D. R. P. 97408, 96317, 97585 (vergl. S. 19, 133 und 144).

Thermit-Gesellschaft feuerfeste Gegenstände direkt gegossen werden. Nach den Angaben der Patentschrift braucht die Tonerdeschmelze nicht chemisch rein zu sein, und die Gegenwart mancher Oxyde (wie z. B. Chromoxyd, Titanoxyd) verleiht der Tonerde eine besondere Dichte und gewisse Zähigkeit, ohne deren Feuerfestigkeit und Widerstandsfähigkeit gegen chemische Einflüsse zu beeinträchtigen. Auch kann man durch Zuschläge von Flußspat, Kryolith und dergl. die Schmelzbarkeit der Tonerde erleichtern.

In geschmolzenem Zustande ist die Tonerde außerordentlich leichtflüssig, so daß sie sich wie Metall gießen läßt und wenig schwindet. In Hohlformen aus Formsand wird nach Einsetzen der entsprechenden Kerne für etwaige Aussparungen die flüssig gemachte Tonerde einfach eingegossen, langsam erstarren gelassen und dann aus der Form entfernt.

Um Gegenstände mit Tonerde zu überziehen, wird laut derselben Patentschrift der betreffende Gegenstand, z. B. Ziegelstein, zuerst möglichst hoch erwärmt und dann ein- oder mehrere Male in flüssige Tonerde eingetaucht, je nachdem man dünnere oder dickere Schichten erzeugen will. Da man nun die Erwärmung eines solchen Steines praktisch kaum über 600 bis 900° durchführen kann, so ist der so erwärmte Stein der geschmolzenen Tonerde gegenüber immer noch relativ kalt, und die Tonerde erstarrt daher sofort in dünner Schicht. Will man einen Tiegel mit flüssiger Tonerde auskleiden, so wird derselbe (z. B. Graphittiegel) stark erwärmt, darauf die flüssige Tonerde in den Tiegel gegossen und durch Umschwenken oder Rotierenlassen desselben die Schmelze gleichmäßig auf die Innenfläche verteilt.

Verfahren der
Deutschen Gold-
und Silber-
scheideanstalt

Bei der geschilderten Arbeitsweise sollen sich jedoch allerlei Mangel herausgestellt haben. Es war schwierig, die Formen so stark vorzuwärmen, daß das ausgegossene Material nicht zu früh erstarrte und der Guß gleichmäßig wurde. Das erstarrte Produkt war meistens porös, so daß es sich für die beabsichtigten Zwecke nicht verwenden ließ. Beim Erkalten soll sich ein starkes Schwinden der Masse gezeigt haben, welches bewirkte, daß z. B. Tiegel in der Form zersprangen. Um diese Schwierigkeiten zu beseitigen, schlägt die Deutsche Gold- und Silberscheideanstalt vorm. Röbller (D. R. P. 113817) vor, in der Weise zu verfahren, daß man die Gußformen aus elektrisch leitender Kohle herstellt und sie als Heizwiderstand in den Stromkreis einschaltet, so daß das geschmolzene Material beim Erkalten in einem derartigen „Widerstandsofen“ direkt die gewünschte Form annimmt. Um z. B. einen Tiegel aus geschmolzener

Magnesia herzustellen, benutzt man ein Kohlenrohr *a* (Fig. 90), das zwischen zwei größeren Kohlenblöcken *bb* als Heizwiderstand eingespannt ist. Der untere Kohleblock trägt einen Zapfen *c*, welcher den Hohlraum umgrenzt. Im übrigen soll dieses Verfahren nicht nur zum Vergießen bereits geschmolzener Massen, sondern auch zum Schmelzen der feuerfesten Oxyde benutzt werden, so z. B. kann man ein Rohr aus elektrisch leitender Kohle („Elektrodenkohle“) mit gepulverter Magnesia füllen und durch den elektrischen Strom erhitzen. Die Magnesia schmilzt und sammelt sich in dem unteren Teile des

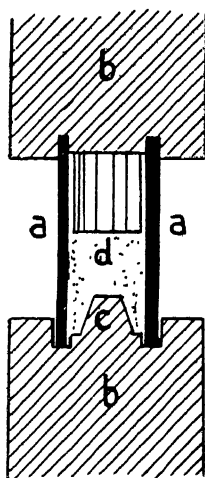


Fig. 90. Herstellung eines Tiegels aus geschmolzener Magnesia.

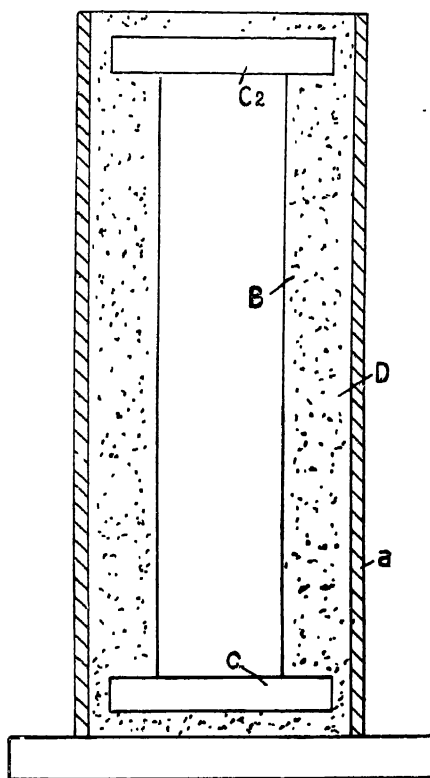


Fig. 91. Arbeitsweise von Ruhstrat.

Rohres. Nach dem Erkalten läßt sich der nun aus dichter kristallinischer Magnesia bestehende Tiegel *D* leicht aus dem Rohr entfernen.

Mehr im Prinzipie als in der Ausführbarkeit verwandt mit den beiden soeben beschriebenen Verfahren ist die von E. Ruhstrat vorgeschlagene Herstellung feuerfester Gegenstände (D. R. P. 144913). In einem Kasten *a* (Fig. 91) wird ein mit Kohle oder Graphit leitend gemachtes Rohr *B* aus Pappe oder Holz zwischen den Kohlenelektroden *C* und *C*² eingeklemmt. Der Hohlraum *D* zwischen dem Kasten *a* und dem Rohre *B* ist mit dem betreffenden schwer schmelzbaren Oxyd, z. B. Sand, gefüllt. Wird nun der elektrische Strom durch den Körper *B*

Verfahren von
Ruhstrat.

geleitet, so bildet sich ein der Dauer und der Stärke des Stromes entsprechend dicker und fester Zylinder aus dem betreffenden Stoffe, hier z. B. aus Quarz. Da die äußerste Schicht nicht schmilzt, hat das Produkt das Aussehen einer Sandsteinsäule; die Außenseite kann durch Schleifen, Anwendung eines Knallgasgeblases usw. bearbeitet werden.

Steht keine elektrische Kraft zur Verfügung, so könne man statt des Rohres *B* eine aus Thermit geformte Stange als Kern benutzen, nach dessen Zündung man den gewünschten Gegenstand aus dem geschmolzenen Sande erhält.

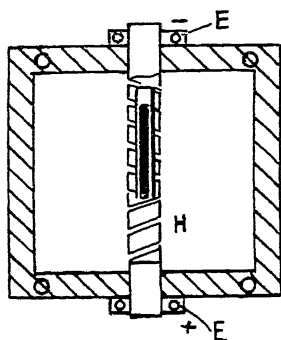


Fig. 92.
Schmelzvorrichtung von Ruhstrat

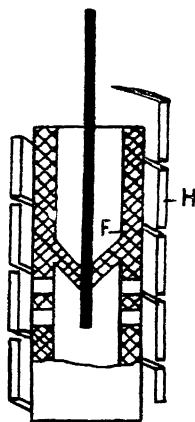


Fig. 93

Eine andere, jedoch ebenfalls wenig glückliche Schmelzvorrichtung (Fig. 92 im kleinen, Fig. 93 im vergrößerten Maßstabe) von E. Ruhstrat (D. R. P. 145980) besteht aus einer Kohlenspirale *H* und einem durchlochten Schmelzgefäß *F* aus Kohle oder Platiniridium. Beim Durch-

leiten des elektrischen Stromes durch die Kohlenspirale *H* wird auch das Schmelzgefäß *F* und das darin befindliche Material (z. B. Quarzstücke, Quarzstaub) schnell erhitzt. Die Öffnung im Boden des Gefäßes wird durch einen Lichtbogenkohlenstab verschlossen. Der Ofen soll ununterbrochen arbeiten können, so daß man beliebige lange Stäbe und Röhren erhielt.

Verfahren von
Elihu Thomson

Um Stäbe, Röhren, Platten und dergl. aus geschmolzenen feuerfesten Materialien, namentlich aus Quarz, herzustellen, schlägt Elihu Thomson (Amerik. Pat. 778286) folgendes Verfahren vor: Ein den Umrissen des herzustellenden Gegenstandes entsprechender Kohlenkörper z. B. der Kohlenstab 4 (Fig. 94) oder Kohlenrohr 6 (Fig. 95), die Platte 11 (Fig. 96) oder die Kohlschalen 20 (Fig. 97) werden an metallischen Stromzuführungen angeschlossen und mit Sand oder Quarz umgeben. Beim Durchschicken eines genügend starken Stromes entsteht an der Oberfläche der Kohlenkörper eine Schicht geschmolzener Kieselsäure, deren Stärke mit der Erhitzungsdauer zunimmt. Die vielen anderen in der Patentschrift aufgezählten

Ausführungsbeispiele sind von noch geringerer Eigenart und daher ohne Interesse. Die einzelnen Platten können zu Gefäßen in der durch die Fig. 98 veranschaulichten Weise, d. h. durch Verschmelzen der Berührungsflächen mittels eines durch einen Magnet angeblasenen Lichtbogens zusammengesetzt werden. Dank dem außerordentlich

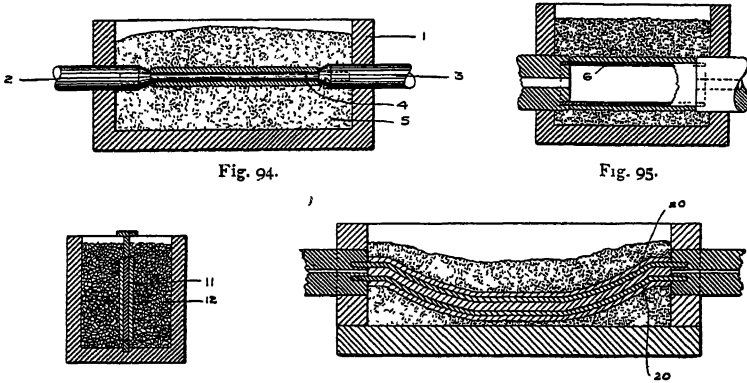


Fig. 94 bis 97. Herstellung von geschmolzenen Gegenständen nach El. Thomson.

geringen Ausdehnungskoeffizient des geschmolzenen Quarzes bietet eine derartige Bearbeitung keine besonderen Schwierigkeiten.

E. Hart (Amerik. Pat. 801378) will Hohlkörper, wie z. B. Schalen und dergl., aus Quarz und ähnlichen schwer schmelzbaren Materialien in der Weise herstellen, daß man auf einer Platte *A* (Fig. 99) aus Kohle, die die Umrisse des herzustellenden Gegenstandes hat, ein Häufchen *D* des zu schmelzenden Rohmaterials aufgibt und einen Flambogen zwischen der stromleitenden Platte *A* und der Elektrode *C* spielen läßt. Die Masse *D* schmilzt, und nun wird an der Peripherie der Platte frisches Rohmaterial nach und nach zugegeben, wobei die Elektrode *C* eine spiralförmige Bahn beschreibt und eine immer größere Fläche im Schmelzfluß erhält. Die Fig. 100 stellt eine Modifikation dieses Verfahrens dar: Die Platte *A*¹ ist aus nicht leitendem Material, und der Flambogen spielt zwischen den beiden Elektroden *C*¹ und *C*², die nicht nur gegenseitig, sondern auch der Platte *A*¹ gegenüber verstellbar sind.

Verfahren
von Hart.

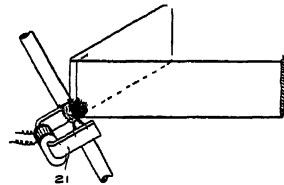


Fig. 98. Zusammenschweißen von Platten nach El. Thomson

Zur Herstellung von geschmolzenen hochfeuerfesten Körpern beliebiger Größe und Gestalt schlägt P. Askenasy (D. R. P. 153503)

Arbeitsweise
nach Askenasy.

folgendes Verfahren vor, das schon mit geringen Kraftmengen (etwa 10 Kilowatt) ausführbar ist. Man formt aus dem betreffenden Rohmaterial, z. B. aus Quarzsand, der mit geringen Mengen (etwa 1 %) eines Klebstoffes, z. B. Stärkelösung, Petroleumrückstände oder

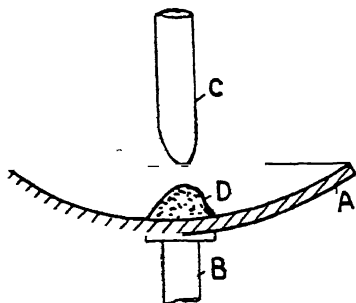


Fig. 99.

Herstellung von Schalen nach Hart.

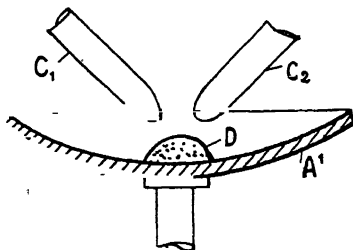


Fig. 100

Lavendelöl angemacht ist, den betreffenden Gegenstand und führt nun den zwischen Kohlenspitzen erzeugten Lichtbogen nach und nach über die ganze Fläche des Stückes herum. Man verwendet hierzu schräg angeordnete, dünne Kohlen, die etwa sechs- bis zehnmal dünner sind

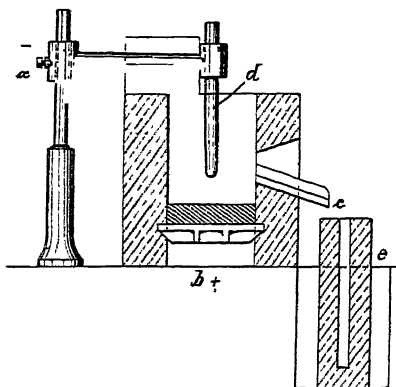


Fig. 101. Herstellung von Elektroden aus geschmolzenem Eisenoxyd von Specketer

als die für die gleiche Stromstärke zur Lichterzeugung benötigten, und arbeitet bei höheren Spannungen, so daß ein recht langer und beständiger Lichtbogen entsteht. Mit 50 Amp. kann man auf diese Weise in wenigen Minuten eine Fläche von etwa 5 qcm Quarzsand in einer Dicke von etwa 4 mm zusammenschmelzen. Will man Gefäße oder Stücke von größerer Dicke erzeugen, so streut man auf die zuerst erhaltene Schmelzschicht eine Lage frischen

Quarzsandes auf und schmilzt dieselbe mit der Unterlage zusammen ein.

Einzelne Tafeln aus geschmolzenem Quarz will Askenasy ähnlich wie Thomson (vergl. Fig. 98) mittels Lichtbogen zu Gefäßen zusammenlöten.

Geschmolzenes
Eisenoxyd
von Specketer.

Ein interessantes Produkt erhielt Specketer (Chemische Fabrik Griesheim Elektron, Amerik. Pat. 800 181) beim Schmelzen von

Eisenoxyd z. B. von Rückständen der Pyritöfen im elektrischen Ofen (Fig. 101). Specketer sticht die geschmolzene Masse direkt in Gießformen ab und benutzt die so erhaltenen Gegenstände als Elektroden bei der elektrolytischen Zersetzung von Salz. Im Vergleiche zu Kohlenelektroden sollen die Eisenoxydkörper dem Chlorgas gegenüber beinahe von unbegrenzter Dauer sein.

In dem D. R. P. 193367 desselben Erfinders wird empfohlen, die in eine Form gegossene Eisenoxydschmelze nur so lange abkühlen zu lassen, bis an der Formwand eine genügend starke zylindrische feste Schicht sich gebildet hat. Alsdann wird der übrige noch flüssige Inhalt zurückgegossen. Der so erhaltene, aus Eisenoxyd bestehende Hohlzylinder kann mit einer Metallseele (Kern) versehen werden.

V . G .

All m i Ü b r i t¹⁾.

Das naheliegendste Merkmal, durch welches Glaswaren und Tonwaren sich voneinander unterscheiden, ist die Durchsichtigkeit, die Lichtdurchlässigkeit des Glases, eine Eigenschaft, die keinem der keramischen Erzeugnisse zukommt. Es gibt jedoch zahlreiche durch absichtliche Zusätze getrübte und undurchsichtig gemachte Glaser, von denen manche Arten den feinsten Tonwaren, z. B. den Fayencen, nicht unähnlich erscheinen. Der wesentlichste Unterschied zwischen Gläsern und keramischen Erzeugnissen ist durch die Fabrikationsphase, in der die Formgebung stattfindet, bedingt: Alle Tonwaren werden in feuchtem Zustande geformt und dann gebrannt; alle Glasarten dagegen entstehen aus flüssigen Schmelzen.

Schmelzen im
Hafenofen.

Das wichtigste in der Glashütte ist daher der Schmelzofen. Die kleineren Glashütten haben ausnahmslos sogen. Hafenöfen, d. h. runde oder ovale Öfen in der Größe einer mittleren Stube, in denen möglichst nahe an der Ofenwandung große Schmelztiegel „Häfen“ aufgestellt sind. Die unterhalb des Ofens angebrachte Heizvorrichtung, meistens Halbgasfeuerung, läßt die Feuergase durch eine im Zentrum der Ofensohle ausgesparte Öffnung in den Ofenraum eintreten, die Flammen umspülen die Häfen und werden durch die unterhalb der Sohle oder im unteren Teile der Ofenpfeiler angebrachten Abzugslöcher abgesaugt. Das trockene Glasgemenge, das meistens aus einem Gemisch von Sand oder Quarzkörnern, Soda und Kalkstein besteht, wird gewöhnlich abends nach Beendigung der Tagesschicht in die etwa 100 bis 300 kg Glas fassenden Häfen eingetragen. Bei heißgehenden Öfen dauert es nicht lange, bis das Gemenge zusammensinkt, dann teigig und schließlich ganz flüssig wird, wobei aber die Schmelze noch zahlreiche unaufgelöste Sand-

1) Unter teilweiser Benutzung eines Vortrages des Verfassers (erschienen in den Mitteilungen aus dem Berliner Bezirksverein des Vereins Deutscher Chemiker, Heft 6, vom Mai 1906).

körner und Kalkflocken enthält. Man wartet, bis sie fast ganz verschwunden sind, und die Schmelze sich klärt und nur Gasbläschen enthält. Die mit der Glasmasse jetzt nur halb gefüllten Häfen werden, um Hitze und Ofenraum besser auszunutzen und recht viel, wenn auch nur annähernd homogene Glasmasse zu haben, mit frischem Glasgemenge nachgefüllt. Meistens werden die Häfen nach dem klaren Schmelzen der zweiten Einlage noch zum dritten Male nachgefüllt. Es hat sich herausgestellt, daß das Nachfüllen der Häfen mit frischem Gemenge erst stattfinden darf, wenn die vorhergehende Einlage völlig geschmolzen ist und so gut wie keine ungeschmolzenen Partikelchen mehr aufweist. Hierdurch gestaltet sich der schon ohnedies durch die Anwendung der kurzlebigen, durchschnittlich acht bis zehn Wochen verwendbaren Häfen verteuerte Hafenofenbetrieb noch unrationeller, da durch jede frische Gemengeeinlage der fast völlig geläuterte Hafeninhalt von neuem in den halbfertigen Zustand zurückgeführt wird.

Wo es sich um Massenfabrikation handelt, bei der auf die Schönheit und Farblosigkeit des Glases wenig Gewicht gelegt wird, wie es z. B. bei Flaschen, Säureballons, Fensterglas und dergl. der Fall ist, werden Wannenöfen verwendet. Es gibt Wannenöfen, die bei einer Länge von 20 m bis nahezu 200 Tonnen Glas (20 Eisenbahnwagen) fassen. In diesen Öfen ist die Arbeitsweise kontinuierlich, und zwar derart, daß an einer Seite der Wanne in geringen Zeitintervallen Glassatz eingetragen und an dem entgegengesetzten Ende der „Wanne“ aus einer Anzahl Arbeitsöffnungen das Glas ausgearbeitet wird. Durch eine Anzahl sehr sinnreicher, dabei aber höchst einfacher Vorrichtungen (Brücke, Schiffchen, Kränze) wird verhütet, daß noch nicht ganz geläutertes Glas auf die Glasmacherpfeife gelangt. Im Gegensatze zu der mehr indirekten Heizung im Hafenofen, worin das Glasgemenge entweder gar nicht („gedeckte Häfen“) oder nur zum geringen Teile („offene Häfen“) der unmittelbaren Wirkung der Feuergase, die die Häfenwandungen nur von außen umspülen, ausgesetzt ist, ist der Verbrennungsraum im Wannenofen von der Glasoberfläche durch keine Zwischenwände getrennt. Die oft in einer Tiefe von $1\frac{1}{2}$ m mit flüssigem Glase gefüllte „Wanne“ ist mit einem flachen Gewölbe überdeckt. Die Generatorgase und die hocherhitzte Sekundärluft treten mit etwa halbstündigem Wechsel bald von der einen, bald von der anderen Seite des Ofens ein und verbrennen in dem zwischen der Glasoberfläche und dem Gewölbe bleibenden Raume. Die Glut im Ofen ist so groß, daß es schon eine gewisse Übung erfordert, beim Hineinblicken in den Ofen die

Wannenöfen.

flüssige Glasmasse überhaupt zu sehen; dem ungeübten Besucher erscheint vielmehr der glühende Wannenofen leer, da er statt der Glasoberfläche nur das sich darin widerspiegelnde Gewölbe wahrnimmt. In der Tat strahlen die verbrennenden Gase und das Gewölbe solche Hitze aus, daß die Glasschicht in ihrer ganzen Tiefe flüssig erhalten wird. Dabei gilt das Glas für einen recht schlechten Wärmeleiter; ob dies auch für flüssiges Glas zutrifft, erscheint jedoch dem Verfasser als fraglich. Bekanntlich steht die Wärmeleitfähigkeit mit der elektrischen Leitfähigkeit im Zusammenhange. Bei gewöhnlicher Temperatur ist das Glas ein sehr guter elektrischer Isolator, dagegen weist heißes Glas eine gute elektrische Leitfähigkeit auf. Jedenfalls ist der Anblick einer im Betriebe befindlichen Glaswanne überwältigend und dürfte dem großartigsten Schaustück, das der moderne Großbetrieb bietet, der Bessemerbirne, nur wenig nachstehen.

Der Umstand, daß im Wannenofen die Glasmasse eine viel höhere Temperatur annehmen kann, beeinflußt auch die Zusammensetzung des Glasgemenges qualitativ wie quantitativ: statt der im Hafenofen meist üblichen Soda wird das etwas billigere Natriumsulfat verwandt, die Gesamtmenge des teuersten Bestandteiles des gewöhnlichen Glases, des Natrons, wird oft um die Hälfte herabgesetzt, und da man außerdem an das Aussehen des aus dem Wannenofen kommenden Glases keine sehr hohen Ansprüche stellt, können auch billige Gesteinsarten, wie Trachyte und Basalte, mit verschmolzen werden.

Spiegelglasöfen.

In gewissem Sinne als Bindeglied zwischen dem Hafen- und dem Wannenofen kann der Spiegelglasofen angesehen werden. Währenddem man das Glas aus den ersten beiden Ofenarten durch Blasen und Pressen verarbeitet, wird das Spiegelglas gegossen. Die Öfen müssen daher so eingerichtet werden, daß man möglichst große Glasmengen auf einmal entnehmen kann, was in der Weise geschieht, daß die ovalen badewannenartigen offenen Häfen, die etwa 700 kg Glas enthalten, in voller Glut aus dem Ofen herausgezogen, hochgehoben und über den „Spiegelgußtisch“ geleert werden. Daraufhin wird der leere glühende Hafen in den Ofen auf seinen Platz zurückgestellt und die Arbeitswand wieder vorgesetzt. Auch diese Öfen, die schmal, aber recht lang sind und an ihren Längsseiten viele Häfen aufnehmen können, gehen sehr heiß und werden mit Generatorgas betrieben. Zur Bereitung des Gemenges dient meistens schwefelsaures Natron (Sulfat).

Der Übergang von Holzfeuerung zur Steinkohlenfeuerung, der sich nicht ohne Schwierigkeiten und Störungen vollzog, die daraufhin

von Friedrich Siemens und anderen eingeführte Gasheizung und die wiederum erst durch diese ermöglichte Herausbildung der Wannenöfen hat den Verbrauch an Heizmaterial beim Schmelzen von Glas außerordentlich heruntergedrückt. Allgemein wird angenommen, daß man pro Kilogramm fertiger Glasgegenstände in Wannenöfen schon mit 0,8 kg und im Hafenofen mit 1,5 bis 2 kg Steinkohle auskommt.

Der Verschleiß der Öfen ist sehr stark, und sie müssen meistens nach etwa zehnmonatigem Gebrauche kaltgestellt und gründlich repariert werden.

Bei den Hafenöfen kommen noch die Häfen dazu. Diese spielen im Budget und in der Leistungsfähigkeit einer Glashütte eine außerordentliche Rolle, nicht nur durch den Wert jedes Hafens, sondern auch durch den Zeitverlust, mithin den Produktionsausfall, der durch das Herausholen des unbrauchbar gewordenen und das Einsetzen des neuen Hafens verursacht wird. Die Anfertigung der Häfen geschieht durchweg auf den Hütten selbst, und zwar durch Handarbeit¹⁾. Nur vereinzelt werden Knet- und Schneidemaschinen zur Verarbeitung des Hafentons verwendet. Die mit großer Sorgfalt meistens aus freier Hand hergestellten Häfen werden einem sehr langsamen, viele Monate dauernden Trockenprozeß in der Hafentube unterworfen. Dadurch wird ermöglicht, daß dann der im Temperofen nur auf schwache Rotglut vorgewärmte frische Hafen direkt in den hochoverhitzten Betriebsofen eingesetzt werden kann. Ein eigentliches „Brennen“, wie es bei anderen feuerfesten Erzeugnissen der Fall ist, findet also bei den Häfen nicht statt. Die Wandungen und der Boden des im Betriebe sich befindenden Hafens sind wahrscheinlich sehr erweicht, so daß schon kleinere in den Hafen gelangende Eisenstücke ihn nur durch ihre Schwere binnen wenigen Tagen durchbohren können.

Glashäfen.

Wenn man im Schmelzprozesse und in den Ofenanlagen eine im Sinne der Hinneigung zum Großbetriebe gewisse Vollkommenheit erreicht hat — die zurückgebliebenen Hütten werden sich diese Erzungenschaften zueignen müssen oder verschwinden —, so läßt sich dies in bezug auf die Verarbeitung des Glases nicht sagen. Wohl hat man auch auf diesem Gebiete gewaltige Erfolge, wie z. B.

Verarbeitung
der flüssigen
Glasmasse.

1) Neuerdings ist ein von Weber herrührendes Verfahren zum Gießen von Häfen (vergl. S. 23) aufgekommen, das in einigen Hutten bereits Eingang gefunden haben soll. Näheres hierüber: E.m. Weber, Sprechsaal 1905, S. 123 und 255; Bericht über die 27. ordentliche Hauptversammlung des Vereins Deutscher Fabriken feuerfester Produkte, Berlin 1907, S. 98.

das Pressen von Gebrauchsgegenständen und Gießen von Spiegelglas bereits erzielt. Der weitaus größte Teil des auf den Markt kommenden Glases wird aber auch jetzt noch mit Menschenlungen geblasen, und zwar nicht aus Rückständigkeit, sondern weil es an anderen Verfahren fehlt. Selbst die billigsten Bier- und Weinflaschen und Säureballons werden heute noch mit der Glasbläserpfeife aufgeblasen. An Versuchen, zu mechanischen Mitteln überzugehen, hat es, wie man sich denken kann, nicht gefehlt. Speziell bei der Herstellung des wohl größten Massenartikels, von Flaschen, ist man in Versuchen zum Übergange zur maschinellen Erzeugung schon sehr weit gegangen; Herr Dralle in Hameln hat zum Internationalen Kongreß für angewandte Chemie von 1903 eine sehr hübsche schematische Zusammenstellung der bis jetzt am besten bewährten Maschinen herausgegeben. Trotz der vielen Versuche und großen Unkosten ist das Problem noch lange nicht als gelöst zu betrachten¹⁾. Für einige Zwecke läßt sich das Verfahren von Sievert verwenden, in dem die auf eine poröse Unterlage ausgebreitete flüssige Glasschicht durch Wasserdampf oder Druckluft in eine darüber gestülpte Form hineingepreßt oder aufgeblasen wird.

Die chemische
Natur
des Glases.

Der Umstand, daß alles Glas aus feuerflüssiger Schmelze erzeugt wird, hat zur Folge, daß die Glasmasse in chemischer Beziehung nicht mehr als Gemenge, wie es bei Tonwaren mit unverglastem Scherben der Fall ist, sondern als homogene Substanz anzusehen ist.

Über die Frage, ob das Glas eine bestimmte chemische Verbindung sei, liegen recht zahlreiche Untersuchungen vor. Lange Zeit war man geneigt, anzunehmen, daß ein normal zusammengesetztes Glas ein doppeltes Alkali- und Erdalkalisilikat etwa von der Zusammensetzung M_2O , MO , $6SiO_2$ sei. Dies würde mit sich bringen, daß im Glase einerseits die Kieselsäure im bestimmten Verhältnis zu den Metalloxyden, anderseits die einwertigen Metalle zu den mehrwertigen ebenfalls in einem bestimmten Verhältnis stehen müßten. Weder das eine noch das andere trifft auch nur annähernd zu. Viel wahrscheinlicher ist die Annahme, daß man im Glase nicht mit einer in stöchiometrischen Verhältnissen zusammengesetzten Verbindung, sondern mit einer erstarrten Lösung eines Metallsilikats im anderen zu rechnen hat. Dies würde auch die oft vorkommende

1) Die seit ganz kurzer Zeit aufgekommene Flaschenblasmaschine von Owens soll nach und nach auch auf einer Reihe deutscher Glashütten zur Einführung gelangen; vergl. Sprechsaal 1907, S. 542 und 635.

Ausscheidung von bestimmten kristallisierten Verbindungen beim langsamen Erstarren der Glasschmelze oder bei wiederholtem Anwärmen des Glases („Entglasen“) erklären. Mit dem Charakter des Glases als einer Lösung stimmt auch der Umstand gut überein, daß die Gläser keinen scharf definierten Schmelzpunkt haben, sondern allmählich erweichen und dann flüssig werden. Charakteristisch für die flüssige Glasschmelze ist deren Lösungsvermögen für fast alle Metalloxyde, Metalle und viele Metalloide. Über die chemischen Vorgänge bei diesem Auflösungsprozess, ob die aufgelösten Metalle im Glase als solche, oder als Oxyde oder als Silikate oder vielleicht gar als Silizide sich vorfinden, herrschte lange Zeit völlige Unklarheit. Für einige Metalle gelang in letzter Zeit der Nachweis, daß sie sich im Glase im kolloidalen Zustande vorfinden. Über den Zustand der Tonerde, die sich fast in jedem Glase in Mengen von 1 bis 3 % vorfindet, und über deren Einfluß auf die Glaseigenschaften sind die Meinungen auch jetzt noch geteilt; neben der Annahme, daß sie sich im Glase als Tonerdesilikat aufgelöst vorfände, wird auch behauptet, daß die Tonerde im Glase als Säure aufträte und darin als Kalziumaluminat verbliebe. Diese Frage ist insofern von praktischer Bedeutung, als durch Beantwortung derselben Anhaltspunkte über die Dosierung der Kieselsäure bei Herstellung tonerdehaltiger Gläser geschaffen würden. Angesichts der Tatsache, daß fast alle Glasarten sehr kieselreich sind, erscheint die letzterwähnte Hypothese der Existenz eines Aluminats in Gegenwart von sauren Silikaten als bedenklich. Jedenfalls wirkt die Gegenwart der Tonerde dem Bestreben des Glases, zu entglasen, d. h. auszukristallisieren, entgegen und macht es zur Verarbeitung vor der Gebläselampe geeignet. Diese Wirkungsweise der Tonerde läßt die Vermutung aufkommen, daß sie in der Glassubstanz in ungebundenem kolloidalen Zustande sich befindet.

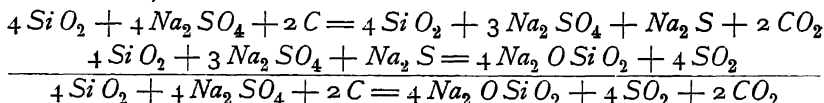
Sulfate und Chloride werden von der Glasschmelze nur in geringen Mengen aufgenommen und geben Anlaß zur Bildung von Glasgalle bzw. Glasschaum.

Chemische
Vorgänge beim
Schmelzen des
Glasatzes.

Das „Gemenge“ oder der „Satz“, welcher zur Herstellung von Glas dient, besteht aus Alkalisalzen, Kalkstein oder Bleioxyd und Flußsand oder Quarz. Die Alkalien wurden früher ausschließlich und jetzt noch zu erheblichem Teil in Form von mehr oder weniger reinen Karbonaten dem Glasgemenge einverleibt. Die beim Schmelzen dieser Bestandteile sich vollziehende Reaktion besteht in der Verdrängung der Kohlensäure durch die Kieselsäure und der Bildung von Silikaten. Die zahlreichen Versuche, die Karbonate der Alkalien

durch die wesentlich billigeren Chloride beim Schmelzen zu ersetzen, schlugen vollständig fehl. Auch wurden Anstrengungen gemacht, statt der Karbonate die Sulfate der Alkalien zu verwenden, da diese an manchen Stellen natürlich vorkommen, und weil vor allem bei dem das vergangene Jahrhundert beherrschenden Leblanc-Soda- und Chlorprozeß das Sulfat bedeutend billiger zu stehen kam, als Soda. Da die Kieselsäure allein selbst bei sehr hohen Temperaturen die Alkalisulfate in nennenswertem Maße nicht zu zersetzen vermag, so kann in diesem Falle die Bildung von Alkalisilikaten nur vermittels einer sekundären Reaktion bewerkstelligt werden.

Nur wenigen Reaktionen, von denen die chemische Großindustrie Gebrauch macht, wurde so große Aufmerksamkeit seitens der akademischen und noch mehr der technischen Chemiker des vorigen Jahrhunderts geschenkt, als gerade der Reduktion des Sulfats in hohen Temperaturen. Vor allem machte die Dosierung des Reduktionsmittels Schwierigkeiten, denn beim Mangel an Reduktionskohle bleibt viel Sulfat übrig, beim Überschuß an Kohle bildet sich Sulfid, das ebenfalls von Kieselsäure kaum angegriffen wird. Beides aber, das Zurückbleiben des unzersetzten Sulfats, wie die Bildung von Sulfid ist dem Glasmacher höchst unerwünscht, da die unzersetzten Salze (Chloride, Sulfate) die sogen. Glasgalle (Glaschaum) verursachen, die die Verarbeitung des Glases sehr erschwert und das Sulfid noch obendrein dem Glase eine unangenehme gelbe bis rotbraune Färbung verleiht. Den Aufschluß über den chemischen Vorgang bei dieser Reduktion von Sulfaten geben uns die folgenden Reaktionen¹⁾:



In der Praxis wird gewöhnlich etwa 8 0/10 Kohle (vom Gewicht des Sulfats berechnet) genommen. Die Anwendung von Sulfat in der Glasindustrie entwickelte sich im Zusammenhange mit der Verbesserung der Öfen, da man mit Sulfat nur bei heißgehenden Öfen mit einiger Sicherheit arbeiten kann. Die Verhältnisse liegen jetzt so, daß fast das gesamte Flaschen-, Fenster- und Spiegelglas und ein bedeutender Teil des billigen Wirtschaftsglases mit Sulfat, alles bessere Glas dagegen mit Soda (zuweilen unter Zusatz von Pott-

1) Peniakoff hat ursprünglich diese Gleichungen für die Entstehung von Aluminaten entworfen (vergl. D. R. P. 80063, 87562 und 93952); wie es sich später herausstellte, verhält sich die Kieselsäure bei diesen Reaktionen ganz analog der Tonerde.

asche) hergestellt wird. Ob die Hafenofenbetriebe jetzt noch viel durch die Benutzung von Sulfat an Stelle von Soda ersparen, erscheint zum mindesten fraglich, und es ist gut möglich, daß man schon in nicht entfernter Zukunft wieder zu Soda umkehren wird. Der früher bedeutende Kostenunterschied beim Gebrauche von Sulfat statt Soda schwindet immer mehr und mehr. Auch ist die Verteuerung des Sulfats keine vorübergehende Erscheinung, sondern durch den Niedergang der alten Soda- und Chlorprozesse bedingt, wodurch das Sulfat aus einem Zwischen- und Nebenprodukte zu dem oft einzig verwendbaren Hauptprodukte geworden ist. Die Salzsäure, die man gleichzeitig zu gewinnen gezwungen ist, wurde vielen chemischen Fabriken zur Last, da es an Verwendungsarten für die Salzsäure fehlt. Es genügen schon jetzt geringe Verschiebungen in den wirtschaftlichen Interessengruppierungen, um das Zurückgreifen auf Soda lohnend zu machen. Technisch wie hygienisch wäre dieser scheinbare Rückschritt sehr zu begrüßen, denn es kann nicht in Abrede gestellt werden, daß die Anwendung von Sulfat eine viel aufmerksamere „Pflege“ der geschmolzenen Glasmasse, als es bei Soda der Fall ist, beansprucht, und daß das Sulfat auch jetzt noch durch Glasgallenbildung und Färbung des Glases vielerlei Schwierigkeiten verursacht. Hierzu kommt noch der Umstand in Betracht, daß das sulfathaltige Gemenge die Hafenwandungen bedeutend stärker angreift als das sodahaltige. Andererseits würde auch der Hüttenrauchschaden der Glashütten, der hauptsächlich auf die beim Schmelzen mit Sulfat freiwerdende schweflige Säure zurückzuführen ist, mit einem Schlage beseitigt. Die von namhaften Technologen öfters versuchte Nutzbarmachung des bei der Glasherstellung freiwerdenden Schwefeldioxyds erwies sich als gänzlich undurchführbar.

Wie viele höchst wichtige Gewerbebezüge, blieb auch die Glasindustrie lange Zeit ganz abseits der chemischen Forschung. Die zwei Faktoren, die ein Gewerbe veranlassen, sich um Verbesserungen zu kümmern: das Bestreben, die Produktion zu verbilligen, und dann die Qualität der Produkte zu verbessern, versagten hier alle beide. Der Wert der verbrauchten Rohstoffe und Chemikalien spielt im Vergleiche zu den Verarbeitungskosten des Glases (Löhnen) und den Ausgaben für Feuerungsmaterial und Unterhaltung der Öfen eine nur geringfügige Rolle, so daß auch die größten Ersparnisse auf dem Gebiete der Rohmaterialien den Preis des erzeugten Glases nur unwesentlich beeinflussen konnten. Hinsichtlich der Qualität des Glases stellten selbst die anspruchsvollsten Abnehmer nur Forderungen an das rein äußerliche Aussehen: das Glas sollte möglichst

Empirismus
in der
Glasindustrie.

farblos, klar, blasenfrei sein; manchmal wurde noch verlangt, daß es recht schwer sei. Alle diese Eigenschaften lassen sich mit den von altersher bekannten Rohmaterialien, wenn sie nur recht rein sind, erzielen, und zur Herstellung von „schwerem“ Kristallglas wandte man ebenfalls von jeher Pottasche und Mennige statt Soda und Kalk an. Ob das hergestellte Glas auch auf die Dauer unverändert und von chemischen Agentien unangegriffen bleibt, wurde meistens als nebensächlich betrachtet.

Optisches Glas.

Nur eine Gattung Abnehmer gab es, für die die sonstigen physikalischen und chemischen Eigenschaften des Glases durchaus nicht gleichgültig waren, und die noch die andere Eigentümlichkeit hatte, daß sie keine Glasgegenstände, sondern nur die geschmolzene Glasmasse in Form von Stücken oder Platten bezog. Seit langer Zeit bemühten sich die Physiker, zur Herstellung von optischen Instrumenten geeignete Glasarten ausfindig zu machen, da die in üblicher Weise hergestellten Gläser nach mehreren Richtungen recht mangelhaft waren. Einerseits sind die Gläser, die, wie wir gesehen haben, keine bestimmte chemische Zusammensetzung aufweisen, selbst in kleineren Stücken nur selten ganz homogen und bestehen meist aus mehreren Schichten von verschiedenen spezifischen Gewichten und optischen Eigenschaften. Selbst wenn es gelingt, mittels bestimmter Kunstgriffe größere Stücke chemisch homogenes Glas zu erzeugen, was über ein halbes Jahrhundert als großes Geheimnis betrachtet wurde, so ist damit die optische Homogenität noch lange nicht erzielt: die mit der fortschreitenden Erstarrung sich vollziehende Volumenänderung der einzelnen Schichten eines größeren Glasstückes bringt es mit sich, daß innerhalb des Glasstückes Spannungen entstehen, die wohl nicht immer groß genug sind, um das Stück zu sprengen, aber doch genügen, um verzerrte Bilder hervorzubringen. Andererseits zeigen die aus vorerwähnten Rohstoffen hergestellten Crown- (bleifreien) und Flint- (bleihaltigen) Gläser, auf deren ausschließlichen Gebrauch die Optiker bis zu Abbés Auftreten angewiesen waren, die unangenehme Eigenschaft, daß bei optischen Systemen, die aus diesen beiden Glasarten zusammengestellt sind, die Lichtzerstreuung stets in gleichem Verhältnis zur Lichtbrechung wächst, und es war daher unmöglich, einen dieser Faktoren zu ändern, ohne daß der andere in entsprechender Weise sich änderte. In seinem Berichte über die Weltausstellung in London 1876 schrieb Abbe¹⁾:

1) O. Schott, Über Glasschmelzerei für optische und andere wissenschaftliche Zwecke. Sitzungsbericht des Vereins zur Beförderung des Gewerbefleißes 1888, S. 162.

„Die fernere Vervollkommnung der feineren optischen Instrumente im Punkte der dioptrischen Wirkung erscheint demnach hauptsächlich auf die Fortschritte der Glasschmelzkunst gestellt und im besonderen davon abhängig, daß letztere optisch verwendbare Glasarten herstellt, bei denen der Gang der Farbenzerstreuung einer Aufhebung des sogen. sekundären Spektrums günstiger ist und bei welchem Dispersion und mittlerer Brechungsindex ein anderes Verhältnis zueinander zeigen, als bei den jetzigen Glasarten. Die Eiformigkeit, welche gegenwärtig die Glasarten in ihren optischen Eigenschaften zeigen, dürften also vorwiegend darin begründet sein, daß die Glasfabrikation bis jetzt nur eine geringe Anzahl von Materialien — außer Kieselsäure, Alkali, Kalkerde und Blei kaum andere als etwa noch Tonerde und Thallium — für die Herstellung der optischen Glasflüsse in Gebrauch genommen hat, und man wird mit einiger Zuversicht auf eine große Mannigfaltigkeit der Erzeugnisse rechnen können, wofern einmal die Glasschmelzkunst, geleitet von einem methodischen Studium der optischen Merkmale vieler chemischer Elemente in ihren Verbindungen, aus diesem engen Kreise herausgetreten sein wird.“

Abbes
Anregungen.

Das Lesen dieses Berichtes war es, was den noch nicht 30 Jahre alten Otto Schott veranlaßte, diesem Problem — dem Suchen nach neuem Glas — sich zu widmen.

Seit Faradays Zeit (der ja ebenfalls sich längere Zeit im Auftrage der englischen Regierung und in Gemeinschaft mit Herschel mit der Herstellung des optischen Glases beschäftigt hat) bis zu unseren Tagen ist die Meinung verbreitet, daß man bei der Glasbereitung aus Versuchen im kleinen rein gar nichts lernen könne. Schott wagte es trotzdem, seine ersten Versuchsschmelzen mit nur je 20 bis 60 g auszuführen, wobei so ziemlich alle chemischen Elemente berücksichtigt wurden, aus denen man Glas zu erzielen hoffen konnte. Was dies zu bedeuten hatte, geht wohl am deutlichsten aus folgendem Briefe Abbes an Schott, der seine ersten Versuche in Witten ausführte, hervor.

Abbes und
Schotts
Versuche.

Abbe betont zunächst die geringen positiven Ergebnisse der Schottischen Versuche und fährt dann fort:

„Ich betrachte es als einen großen Erfolg, daß es Ihnen gelungen ist, Probeschmelzungen in kleinen Tiegeln in solcher Qualität zu erhalten, daß eine vollständige optische Untersuchung des Produktes möglich ist. Feil, der doch ein berühmter, erfahrener Glasschmelzer ist, hat mir noch keine derartige Schmelzprobe geliefert,

die auch nur eine annähernde Bestimmung der mittleren Dispersion gestattet hätte, geschweige denn eine zuverlässige Feststellung der partiellen Dispersion, wie ich sie bei der einen Ihrer Proben erhalten habe und von der anderen auch noch zu erhalten hoffe. Für den Fortschritt in der Herstellung optischen Glases scheint mir aber die Möglichkeit, brauchbare, d. h. optisch bestimmbare Probeschmelzungen machen zu können, die wichtigste Voraussetzung, weil auf diese Weise allein ein methodisches Experimentieren möglich wird. Solange man alle Proben mit Quantitäten von 60 bis 80 Pfund machen muß, um nur ein brauchbares Untersuchungsprisma zu erhalten, wird von einem systematischen Probieren neuer Kombinationen so gut wie gar nicht die Rede sein können. In meinen Augen sind daher, trotz des negativen Resultates, diese Versuche mehr wert, als wenn Ihnen ein glücklicher Zufall eine wertvolle neue Glasart gebracht hätte.“

Die Studien über die Beziehungen zwischen chemischer Zusammensetzung und physikalischen Eigenschaften des Glases wurden nach Schotts Übersiedelung nach Jena in größeren Porzellantiegeln mit Fletcher-Glasgebläse weitergeführt. Als dann zur Erzielung möglichst reiner Glasmassen ein großer, $1\frac{1}{2}$ kg schwerer Platintiegel von 3 Liter Inhalt angewandt wurde, war der Erfolg in Hinsicht auf die Homogenität überraschend ungünstig.

Von welcher Fruchtbarkeit die Abbe-Schottischen Arbeiten auf dem Gebiete der Schaffung neuer Glasarten sich erwiesen haben, ist jedem Chemiker und Physiker bekannt.

Aus einem Vortrage von E. Zschimmer¹⁾ aus dem glastechnischen Institute in Jena geht hervor, daß man dort neben dem gewöhnlichen Crown- und Flintglas, die, wie schon erwähnt, durch ihr starres Verhältnis zwischen Lichtbrechung und Lichtzerstreuung nur beschränkte Anwendung zulassen, nicht weniger als 150 andere optische Glasarten anfertigt, die in Borosilikatcrown, Bariumsilikatcrown, Barytflinte und andere Gruppen zerfallen, und in denen die verschiedenen optischen Eigenschaften in mannigfaltigsten Kombinationen auftreten (Fig. 102). Nun kommt es für die Verwendung von Glas für optische Zwecke nicht nur auf das spezifische Lichtbrechungs- und Lichtzerstreuungsvermögen, sondern auch auf die chemische und „optische“ Homogenität des Glases an. Optisch homogenes, d. h. von inneren Spannungen völlig freies Glas kann nur durch sehr stark verlangsamte Kühlung der erschmolzenen Glasmasse zustande kommen.

Mannigfaltigkeit
der optischen
Glasarten.

1) Z. f. Elektroch. 1905, S. 629.

Früher dachte man hierfür schon reichlich gesorgt zu haben, wenn man das Glas im Ofen ließ und diesen nach sorgfältiger Abdichtung der natürlichen Abkühlung überließ. Erst in Jena erkannte man, daß hierbei die Erstarrung des Glases noch viel zu rasch vor sich geht, und man schritt dazu, durch die immer schwächer gehaltene Heizung das Kaltwerden um das Vielfache zu verlangsamen. Von besonderer Bedeutung erwiesen sich hierbei die Beobachtungen von Schott, daß die Maximaltemperatur, bei der jedes seiner Gläser spannungsfrei wurde, 465° betrug, und daß die niedrigste Temperatur, unterhalb deren jedes Glas vollkommen erhärtete, etwa 370°

Kritische Temperatur bei der Kühlung von Glas.

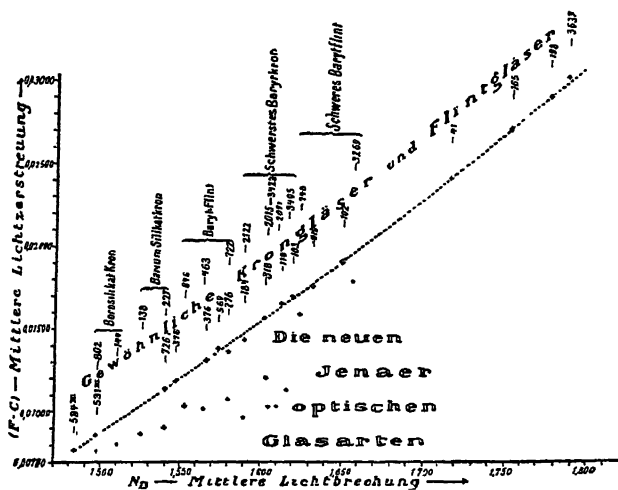


Fig 102. Zerstreung und Brechung der optischen Glasarten

war. Demgemäß ist vor allem zu sorgen, daß gerade in diesem Intervall die Abkühlung so langsam wie nur möglich vor sich gehe, und in der Tat soll in Jena der Abfall von etwa nur 100° bei diesen gewissermaßen kritischen Temperaturen auf Wochen ausgedehnt werden.

In neuerer Zeit befaßte sich mit dem Temperaturabstande zwischen den Erweichungs- und Erstarrungspunkten von Glas und glasähnlichen Substanzen Granger¹⁾. Wenn auch die gefundenen Werte bei der Schwierigkeit der Untersuchung nur relative Gültigkeit beanspruchen können, so sollen sie doch im Hinblick auf die Wichtigkeit solcher Untersuchungen für die rationelle Kühlung hier wiedergegeben werden.

1) Moniteur Scientifique 1899, Bd. 54, S. 541.

	Erstarrungs- punkt in Grad C.	Erweichungs- punkt in Grad C.
$Na_2 O, 2 Si O_2$	400	445
$Na_2 O, 6 Si O_2$	445	500
$2,5 Pb O, B_2 O_3$	290	330
$Pb O, 2,5 B_2 O_3$	480	510
$Pb O, 3 B_2 O_3$	410	430
$B_2 O_3$	292	342
Spiegelglas St. Gobain	506	543
" $- 6 \frac{0}{10} K_2 O$	518	543
" $- 6 \text{ " } Ca O$	506	543
" $- 6 \text{ " } Ba O$	543	567
" $- 6 \text{ " } Si O_2$	518	543
" $- 6 \text{ " } Al_2 O_3$	518	543
" $- 6 \text{ " } Kryolith$	493	515
$0,46 Na_2 O, 0,54 Ca O, 2,5 Si O_2$	543	604
$0,65 Na_2 O, 0,35 K_2 O, 0,35 Al_2 O_3, 3,1 Si O_2$	520	550
$0,47 Na_2 O, 0,39 Ca O, 0,14 Ba O, 1,21 Si O_2$	432	445
$0,07 Ca F_2, 0,32 Al_2 O_3, K_2 O, 3 Si O_2$	450	560
$0,47 Na O, 0,53 Pb O, 2,45 Si O_2$	380	400

Beziehungen
zwischen der
chemischen
Zusammen-
setzung und
physikalischen
Eigenschaften
des Glases.

Dank den groß angelegten Forschungen im Zeiß-Abbe-Schottischen Institute und unter Beteiligung von Winkelmann, Auerbach, Herschkowitsch, Siedentopf, Zschimmer, Zsigmondy u. a. gelang es, einige Aufschlüsse über die Abhängigkeit der wichtigsten physikalischen Eigenschaften des Glases, namentlich der Lichtbrechung und Lichtstreuung (Dispersion), der Wärmeausdehnung, der Licht- und Wärmedurchlässigkeit und der Unangreifbarkeit von seiner chemischen Zusammensetzung aufzufinden. Zur Veranschaulichung des Einflusses einiger Oxyde auf die Lichtbrechung und Zerstreuung der Gläser seien hier einige Diagramme (Fig. 103, 104 u. 105) aus der Veröffentlichung von Zschimmer entnommen.

Es war ein großes Verdienst seitens Hovestadt, diese für die Kenntnis des Glases so wichtigen, aber weit zerstreuten und für den Praktiker meist schwer zu beschaffenden Forschungsergebnisse gesammelt und systematisch geordnet in Buchform¹⁾ der Allgemeinheit leicht zugänglich gemacht zu haben. Zur Kennzeichnung der Fülle des dort bearbeiteten Materiales seien hier einige Resultate

1) Jenaer Glas und seine Verwendung in Wissenschaft und Technik 1900, bei G. Fischer in Jena.

tabellarisch wiedergegeben. Der von einigen Oxyden ausgeübte Einfluß auf das spezifische Gewicht, Zugfestigkeit, Druckfestigkeit usw. des Glases geht aus untenstehender Tabelle hervor.

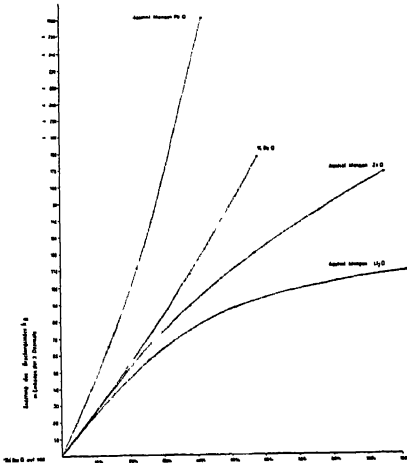


Fig. 103. Vergleichung der optischen Wirkung äquivalenter Mengen von SiO_2 , ZnO , BaO , PbO auf den Brechungsindex N_D der glasigen Borsäure

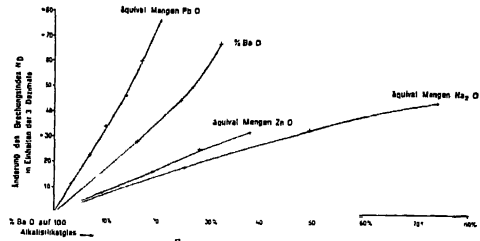


Fig. 104. Vergleichung der optischen Wirkung äquivalenter Mengen von Na_2O , ZnO , BaO , PbO auf den Brechungsindex N_D von Alkalisilikatglas

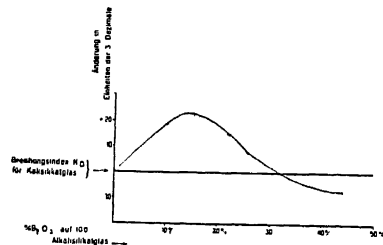


Fig. 105. Optische Wirkung der Borsäure auf den Brechungsindex N_D von Kalksilikatglas.

Oxyde	Formel	Spezifisches Gewicht	Dichtigkeit der Oxyde im Glase (Wert Z)	Verdüchtung $\left(\frac{Z}{\text{Spez. Gew.}}\right)$	Zugfestigkeit (γ)	Druckfestigkeit γ	Härte	Spezifische Wärme	Koeffizient der Wärmeausdehnung	Wärmeleitung ¹⁾
Bariumoxyd . . .	BaO	5,00	7,00	1,400	0,05	0,05	1,95	0,067 28	3,0	0,000 0110
Borsäure . . .	B_2O_3	1,46	1,9	1,301	0,065	0,9	0,75	0,2374	0,1	150
Magnesia . . .	MgO	3,40	3,8	1,118	0,01	1,1		0,2439	0,1	082
Phosphorsäure . . .	P_2O_5	2,38	2,55	1,071	0,075	0,76	1,32	0,1902	2,0	160
Tonerde . . .	Al_2O_3	3,85	4,1	1,065	0,05	1,0	10,2	0,2074	5,0	200
Kieselsäure . . .	SiO_2	2,17	2,3	1,060	0,09	1,23	3,32	0,1913	0,8	0,000 0220
Kaliumoxyd . . .	K_2O	2,66	2,8	1,053	0,01	0,05	3,9	0,1860	8,5	010
Kalk . . .	CaO	3,15	3,3	1,048	0,20	0,2	6,3	0,1903	5,0	320
Zinkoxyd . . .	ZnO	5,65	5,9	1,044	0,15	0,6	7,1	0,1248	1,8	110
Bleioxyd . . .	PbO	9,32	9,6	1,030	0,025	0,48	1,45	0,051 18	3,0	080
Natriumoxyd . . .	Na_2O	2,55	2,6	1,020	0,02	0,02	2,65	0,2674	10,0	160
Arsenpentoxyd . . .	As_2O_5	4,09	4,1	1,002	0,03	1,0		0,1276		

1) Über die hier mitgeteilten Werte für Wärmeleitfähigkeit, sowie über die Ausdehnungskoeffizienten einiger Gläser, entspann sich zwischen Th. Focke und Winkelmann eine Diskussion (Ann. d. Physik 1899, Bd. 67, S. 132 u. 794). Wie Kundt bei Untersuchung von Metallen, so fand Focke bei Untersuchung von Gläsern, daß im allgemeinen die schlechtesten Wärmeleiter die höchsten Brechungsindizes haben, und umgekehrt, aber ein regelmäßiger Zuwachs der letzteren mit abnehmenden Wärmeleitfähigkeiten war nicht zu konstatieren.

Hierzu sei noch erläuternd bemerkt:

Um das spezifische Gewicht des Glases aus seiner Zusammensetzung im voraus zu berechnen, werden die Prozente seiner einzelnen Bestandteile mit $a_1, a_2, a_3 \dots$ bezeichnet; demnach ist:

$$a_1 + a_2 + a_3 + \dots = 100.$$

Sind dann $Z_1, Z_2, Z_3 \dots$ die spezifischen Gewichte, mit denen die einzelnen Bestandteile im Glase erscheinen, so ist

$$\frac{a_1}{Z_1} + \frac{a_2}{Z_2} + \frac{a_3}{Z_3} + \dots = \frac{100}{S},$$

wo S das spezifische Gewicht des Glases selbst ist.

Wie aus der Tabelle ersichtlich ist, sind die Werte für Z nicht identisch mit den spezifischen Gewichten der Oxyde, und die Vereinigung der Oxyde zu Glas geht unter Volumenverminderung vonstatten.

Die Zugfestigkeit P setzt sich zusammen aus

$$a_1 y_1 + a_2 y_2 + a_3 y_3 + \dots = P.$$

Für die Druckfestigkeit gilt die analoge Gleichung.

Wie aus der folgenden Tabelle ersichtlich, stimmen die aus der Zusammensetzung der Schmelzen berechneten spezifischen Gewichte mit den beobachteten recht gut überein. Die hohen Differenzen bei den Schmelzen 11, 16, 18 beziehen sich gar nicht mehr auf eigentliche Gläser, sondern auf borsaures Zink, borsaures Blei und auf Bleisilikat.

Nummer der Glas- schmelze	Zusammensetzung in Prozenten											Spezifisches Ge- wicht des Glases			
	SiO ₂	B ₂ O ₃	ZnO	PbO	MgO	Al ₂ O ₃	As ₂ O ₅	BaO	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	P ₂ O ₅	beob- achtet	be- rechnet	Diffe- renz Prozent
2		69,1				18	0,2	4,7	8				2,243	2,24	+ 0,1
3	64,4	12,0			11,0	4,5			8				2,424	2,42	+ 0,2
4	55,0					17,0		14,0	14,0				2,480	2,60	- 4,8
5	71,0	14,0				5,0			10,0				2,37	2,31	+ 2,5
6	67,3	2,0	7,0			2,5			14,0		7,0		2,585	2,52	+ 2,5
9		3,0			4,0	10,0				12		70,5	2,588	2,69	- 3,9
11		41,0	59,0										3,527	3,17	+ 10,1
13		3,0				8,0	1,5	28				59,5	3,07	3,20	- 4,2
14		3,0				1,5	1,5	38				56	3,238	3,37	- 4,1
16		42,8				5,0	0,2						3,691	3,42	+ 7,3
18	22			52	78								5,831	5,65	+ 3,1
23	34,5	10,1	7,8			5,0	0,5	42					3,532	3,45	- 2,3

Einfluß der
Phosphorsäure.

Über den Einfluß des P_2O_5 -Gehaltes im Glase stellte Inwald¹⁾ eine Reihe von Versuchen an und kam zu folgenden Ergebnissen:

1) Chemische Industrie 1899, S. 376.

Falls man in Gläsern von der Zusammensetzung Na_2O , CaO , $6SiO_2$ einen Teil der Kieselsäure durch Phosphorsäure ersetzt, so schmilzt das Gemenge erst bei viel höherer Temperatur. Um den Schmelzpunkt phosphorsäurehaltiger Gläser herunterzudrücken, empfiehlt sich die Einführung von Borsäure. Selbst bei geringem Zusatz von phosphorsaurem Kalk erhält man milchiges Glas. Wird statt phosphorsäuren Kalkes phosphorsaures Blei im Glase erzeugt, so bleibt das Glas klar und nicht milchig.

Der phosphorsaure Kalk ist im Glase nicht gelöst, sondern suspendiert.

Nach neueren, mittels einer Schleifmaschine erhaltenen Versuchsergebnissen von Lecrenier¹⁾ läßt sich der Einfluß der chemischen Zusammensetzung des Glases auf dessen Härte in folgende Sätze zusammenfassen:

Härte des Glases.

1. Die Natrongläser sind in der Regel härter als die ein gleiches Volumen von Kieselsäure enthaltenden Kaligläser.

2. Bei den rein kalknatronhaltigen Gläsern steigt die Härte bei gleichem Gehalt an Kieselsäure mit der Zunahme des Kalk- und der Abnahme des Natrongehaltes.

3. Borsäure gibt dem Glase eine große Härte.

4. Bei den Bleigläsern vermehrt der Zusatz von Soda und Kalk die Härte ganz bedeutend.

Beim Studium des Einflusses glasbildender Oxyde auf die Absorption der Wärmestrahlung gelang es R. Zsigmondy²⁾, Gläser mit hohem Eisenoxydulgehalte ausfindig zu machen, die in Dicken von etwa 8 mm die strahlende Wärme vollständig absorbieren. Diese Gläser wurden von Lecrenier³⁾ in Val-Saint-Lambert hergestellt und hatten einen Gehalt von 1 bis 2 % Eisen in Form von Oxydul. Es wurde in der gewöhnlichen Zusammensetzung des Kalknatronglases nach der Formel: $NaO_2 \cdot CaO \cdot 6SiO_2$ ohne jedes oxydierende Mittel hergestellt und das Eisen in Form von Eisenoxydul mit einer geringen Beimischung von weinstein-saurem Kalium hinzugesetzt. Um jeder Möglichkeit einer Oxydation vorzubeugen, wurde in einem vollständig geschlossenen Hafen ge-

Für Wärmestrahlen undurchlässiges Glas

1) Sprechsaal 1905, Nr. 41 u. 42.

2) Über ein für Wärmestrahlen undurchsichtiges Glas; Dinglers Polytechn. Journal 1893, Bd. 287, Hefte 1, 3, 5

3) Studie über farbige Gläser; Extrait du Bulletin de la Société chimique de Belgique 1904, Nr. 11 u. 12; 1905, Nr. 1; Sprechsaal 1905, Nr 27 u 28.

schmolzen, dessen Deckel zwei Löcher hatte, von welchen das eine den Zutritt, das andere den Abzug eines Stromes von Leuchtgas ermöglichte; das so innerhalb einer stark reduzierenden Atmosphäre erhaltene Glas zeigte nach dem Erkalten eine blaue, ganz leicht grünliche Färbung.

Elektrisch
leitendes
Glas.

Ein Glas, das eine 500 mal größere elektrische Leitfähigkeit als gewöhnliches Glas aufweist, erhält man nach Ch. E. S. Phillips¹⁾ aus 32 Teilen Natriumsilikat und 8 Teilen kalziniertem Borax. Ein Zusatz von 1,25 Teilen Flintglas verbessert die Beschaffenheit der Oberfläche und macht das Glas haltbarer. Es schmilzt bei niedriger Temperatur, läßt sich in Platten gießen, zu Stäben formen und in Fäden ausziehen. Es ist härter wie gewöhnliches Glas und hat eine Dichte von 2,49. Ultraviolette Strahlen läßt das neue Glas nicht

durch, wohl aber Röntgenstrahlen, und es zeigt in den Kathodenstrahlen keine Fluoreszenz. In pulverisiertem Zustande läßt es sich an Kupfer anschmelzen, ohne daß es beim Erkalten springt

Hygro-
skopizität
des
Glases.

Dem Verfasser erscheint es als nicht ausgeschlossen, daß die verhältnismäßig hohe elektrische Leitfähigkeit dieses Glases nur eine scheinbare ist und durch die starke Hygroskopizität dieses so alkalireichen Glases verursacht wird. Zschimmer²⁾, der die hygroskopischen Eigenschaften optischer Gläser prüfte, faßte die Ergebnisse

Fig. 106 Tropfenbeschlag von adsorbiertem Wasser, hervorgerufen in nahezu gesättigtem Dampf von 80°.

hierüber, wie folgt, zusammen: „Jedes alkalihaltige Glas ‚adsorbiert‘ und kondensiert aus höher erhitztem, nahezu gesättigtem Dampf flüssiges Wasser in Form von Tröpfchen³⁾ (Fig. 106) Dieser Prozeß vollzieht sich in weniger als 12 Stunden. Bei gewöhnlicher Zimmertemperatur und an freier Luft zeigt sich auf frisch polierten Flächen derselben Gläser nach Wochen (oder erst nach Jahren) ein Beschlag, wie der durch die Fig. 107 u. 108 veranschaulichte Tropfen- und Kristallüberzug. Die Menge des durch Adsorption aus nahezu gesättigtem Dampf auf den Flächen alkalihaltiger Gläser konden-

1) Österr. Zeitschr. f. Elektrotechnik und Maschinenbau 1906, S 811 nach Sprechsaal 1906, S 1478.

2) Z. f. Elektroch. 1905, Bd. 11, S. 629.

3) Die Abkühlung muß so erfolgen, daß keine Taubildung eintritt; um dies zu kontrollieren, wird mit den Glasstücken ein Quarzplättchen derselben Behandlung ausgesetzt, welches keinen Beschlag zeigen darf

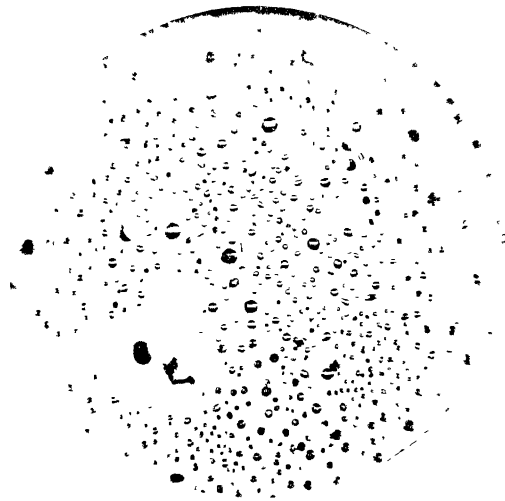


Fig 107 Kaliglas mit Tröpfchenüberzug (an der freien Luft entstanden)



Fig. 108. Natronglas mit Kristallüberzug (an der freien Luft entstanden).

sierten Wassers hängt bei sonst gleichen Verhältnissen (Temperatur, Einwirkungszeit) von der chemischen Zusammensetzung des Glases ab.“

Für ultraviolette
Strahlen
durchlässiges
Glas (Uviolglas).

Schon früher haben O. Schott und V. Schumann konstatiert, daß die Durchlässigkeit verschiedener Gläser für ultraviolette Strahlen beträchtliche Unterschiede aufweist. Zschimmer nahm die Untersuchungen wieder auf und erhielt Gläser von so hoher Durchlässigkeit, daß z. B. bei photographischen Aufnahmen des gestirnten Himmels die Sternzahl bei Anwendung des neuen Glases anderthalb mal so groß war als bei Benutzung eines gewöhnlichen Objectives. Die Fig. 109, enthaltend die Vergleichsspektren von zwei Quecksilberdampflampen (Arons-Hewitt), von denen die eine aus gewöhnlichem Glas, die andere aus dem neuen Uviolglas bestand, veranschaulicht am deutlichsten den Unterschied in der Strahlungsdurchlässigkeit.

Für ultraviolette
Strahlen
undurchlässiges
Glas
(Euphosglas).

Nach Angaben von Schanz und Stockhausen¹⁾ ist gewöhnliches Lampen- und Brillenglas nur für Strahlen mit kürzerer Wellenlänge als etwa 300 nm undurchlässig, dagegen die chemisch wirk-

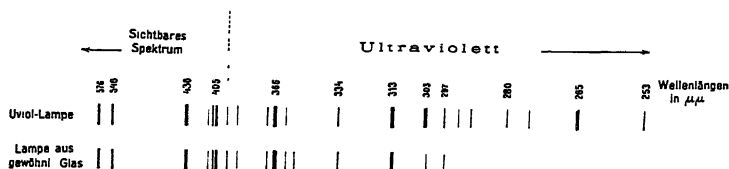


Fig. 109. Vergleichsspektrogramm von Quecksilberlampen aus Uviolglas und aus gewöhnlichem Glas.

samen ultravioletten Strahlen, die eine Wellenlänge von 300 bis 400 nm haben, werden von dem gewöhnlichen Glas durchgelassen. Im Auge schützt die Linse die Netzhaut vor der Einwirkung der ultravioletten Strahlen. Sie zeigt bei Bestrahlung mit ultravioletten Strahlen eine starke Fluoreszenz. Die ultravioletten, unsichtbaren Strahlen werden wieder in sichtbare umgesetzt. Wer je die Stärke dieses Vorganges beobachtet hat, muß sich die Frage vorlegen: Werden durch diesen Umsatz der Energie mit der Zeit nicht nachweisbare Veränderungen in diesem Organ hervorgerufen? Widmark, Schuleck und andere sahen bei starker Belichtung mit ultravioletten Strahlen Trübungen der Linse auftreten. Wir müssen daher unsere Augen vor der Wirkung ultravioletter Strahlen zu schützen suchen (vergl. S. 82, Anm. 1), nicht nur weil diese vorn am Auge Reizerscheinungen hervorrufen, sondern auch weil die Möglichkeit besteht, daß die Altersveränderung (der graue Star) dadurch beschleunigt wird.

1) 79. Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte; Elektrotechn. Anzeiger 1907, S. 876, und Hauptversammlung des Elektrotechnischen Vereins 1908; Elektrotechn. Zeitschrift 1908, S. 777

Als Abhilfe hierfür empfehlen Schanz und Stockhausen die Benutzung des von ihnen hergestellten neuen Glases („Euphosglas“), das die ultravioletten Strahlen viel stärker absorbiert, als das gewöhnliche weiße oder bunte Glas. Die hier erörterte Frage des Augenschutzes soll nicht nur für solche, die mit Lichtbogen, Knallgasgebläse und anderen Lichtquellen von hoher Stärke zu tun haben, sondern auch für die Allgemeinheit von großer Bedeutung sein, da auch das Gasglühlicht, sowie das Licht der neueren elektrischen Glühlampen (Tantal-, Wolfram-, Osramlampen usw.) reich an violetten Strahlen ist. Es wird beabsichtigt, aus diesem neuen Euphosglas, das nur ganz leicht gefärbt ist, Augenschutzgläser sowie Beleuchtungsglas herzustellen. Nur die Beobachtungsgläser für sehr starke Lichtquellen (Lichtbogen, elektrischer Ofen usw.) erhalten dunkle Färbung, wodurch auch die blauen und violetten Strahlen ausgeschaltet werden.

Diese Ausführungen und die von Schanz und Stockhausen vorgelegten photometrischen Messungen fanden auf der Hauptversammlung des Elektrotechnischen Vereins 1908 sehr scharfe Anfechtungen. Seitens der Schottischen Glaswerke (Hahn, Zschimmer), der Firma Heraeus (Heraeus, Haagn) und in einem Vortrage von Voegel¹⁾: „Ist durch das ultraviolette Licht der modernen künstlichen Lichtquelle eine Schädigung des Auges zu befürchten?“, wurde hervorgehoben, daß selbst das diffuse Tageslicht reicher als die stärkste Lampe an ultravioletten Strahlen ist, und daß die bekannten Schottischen „Lichtfiltergläser“ das Euphosglas vollständig ersetzen können. Der Meinungsstreit hierüber dauert noch fort, und von verschiedenen Seiten wird an der Klärung dieser so wichtigen Fragen weiter gearbeitet.

Das Verfahren von O. Sackur²⁾ zur Herstellung von dunkel-gefärbtem, für aktinisches Licht undurchlässigem Glase bietet Interesse nicht nur in Hinsicht auf die erzielten Eigenschaften des Glases, sondern auch in bezug auf den eingeschlagenen Weg, die Zusammensetzung der bereits fertigen Glasgegenstände innerhalb gewisser Grenzen zu beeinflussen, der an das Zementieren (Härten) bezw. Tempern von Fluß- und Gußeisen erinnert. Erhitzt man gewöhnliches weiches Glas in einem Gemenge von Silbersulfid und Silbersulfat auf 400 bis 450 ° C., so nimmt das Glas je nach der Dauer und Temperatur der Erhitzung eine gelbbraune bis dunkelrotbraune Farbe an. Es

Für aktinisches
Licht undurch-
lässiges Glas.

1) Elektrotechn. Zeitschrift 1908, S. 779 u. 946 (Zuschrift von Blondel).

2) Nach Privatmitteilungen des Erfinders; vergl. außerdem D. R. P.

tritt die Reaktion ein: $Ag_2S + Ag_2SO_4 = 4Ag + 2SO_2$, und das entstehende Silber löst sich zum Teil, wahrscheinlich kolloidal, in dem Glase auf. Das so gefärbte Glas absorbiert alles Licht vom Gelbgrün bis zum Violett. Die Absorption im Ultraviolett ist zwar noch nicht direkt bewiesen, sie scheint aber nach dem günstigen Ergebnis von photographischen Versuchen sichergestellt zu sein. Eine andere, sehr bemerkenswerte Eigenschaft ist ein zwar geringes, aber deutliches Leitvermögen für Elektrizität, das dem nicht gefarbenen Glase in weit geringerem Maße zukommt.

Klassifikation
und Prüfung der
Gläser.

Zur Klassifikation der Gläser, soweit dieselben für den chemischen Gebrauch bestimmt sind, schlug F. Mylius¹⁾ die Einteilung derselben nicht nach ihrer Zusammensetzung, die für den Konsumenten ziemlich gleichgültig ist, sondern nach dem Grade der hydrolytischen Zersetzung des Glases durch Wasser, gemessen an dem gelösten Alkali, vor. Untersucht wurden zahlreiche bekannte Glasarten, indem dieselben 3 Stunden lang bei 100° einerseits mit zweifach normaler Natronlauge, andererseits mit zweifach normaler Sodalösung behandelt wurden. Die Zahlen bedeuten die Gewichtsabnahme des Glases in Milligrammen und beziehen sich auf eine Glasoberfläche von 100 qcm.

	Natronlauge etwa	Sodalösung etwa
Quarzglas	40	14
Jenaer Glas 59, III	67	23
Apparatenglas	46	45
Bleikristallglas	58	51
Steißches Glas	36	59
Böhmisches Glas	40	77
Thermometerglas 16, II	42	79

Zur Prüfung der Gläser auf ihre Angreifbarkeit durch Wasser empfiehlt es sich, die störenden Einflüsse der Verwitterung durch eine dreitägige Vorbehandlung mit Wasser zu beseitigen und die Gläser zunächst einer achttägigen Behandlung mit Wasser von 18°, darauf einer dreistündigen Behandlung mit Wasser von 80° zu unterwerfen. Die dabei in Lösung gehenden Alkalien werden, ausgedrückt in Tausendstel Milligrammen Natron (Na_2O), auf 100 qcm Oberfläche bezogen.

1) V. Kongreß f. angew. Chemie 1903, Berlin, Bd. 1, S. 678; Sprechsaal 1903, Nr. 24 u. 25.

	Wasser von 18°	Wasser von 80°
A) Quarzglas	—	—
B) Wasserbeständige Gläser (Jenaer ton- erdehaltiges Borosilikatglas 59, III)	0—4	0—15
C) Resistente Gläser (Staßches Glas) .	4—12	15—45
D) Härtere Apparatengläser (Jenaer Thermometerglas 16, III) . . .	12—36	45—150
E) Weichere Apparatengläser (Blei- kristallglas)	36—150	150—600
F) Mangelhafte Gläser	über 150	über 600

Die Gasdurchlässigkeit der Glasgefäße unterzog neuerdings Gasdurchlässigkeit des Glases M. Berthelot¹⁾ einer eingehenden Prüfung und fand, daß, sobald die Glasröhren merklich zu erweichen beginnen, sie auch gasundicht werden. Abgesehen davon, daß Quarzglasröhren erst bei viel höherer Temperatur als Jenaer Glasröhren und diese bei höherer Temperatur als Röhren aus gewöhnlichem weißen Glas erweichen, bieten diese drei Glasgattungen in bezug auf die Gasdurchlässigkeit keinen prinzipiellen Unterschied. Bei erweichten dünnwandigen Röhren ist sie größer als bei starkwandigen; darum macht sie sich besonders bemerkbar, wenn das erweichte Glasrohr sich aufzublähen beginnt, wobei die Glaswandungen natürlich bedeutend dünner werden. Dies tritt bei gewöhnlichem Weißglas oberhalb 550° und bei Jenaer Glas bei 800° ein. Bei Wasserstoffgasfüllung traten im Jenaer Glas merkliche Verluste bereits bei 750 bis 775° ein, bei Sauerstoff konnte der Beginn des Durchdringens erst gegen 815° beobachtet werden.

Aus den Ergebnissen seiner Versuche zieht Berthelot den Schluß, daß, sobald Glas, Quarzglas, glasierte Ton- und Porzellan-gefäße bei organischen Analysen, pyrometrischen Prüfungen, Untersuchungen von Gasen, radioaktiven Körpern und dergl. bis zur Erweichungstemperatur erhitzt werden, diese Gefäße keinesfalls als luftdicht zu betrachten sind.

Alles bis jetzt Ausgeführte galt für farbloses oder, wie die Fachleute sagen, weißes Glas; die Herstellung von solchem Glas ist bedeutend schwieriger, als die Fabrikation von gefärbtem Glas. Dies kommt daher, daß fast alle Beimengungen organischer wie anorganischer Natur die Glasschmelze färben. Da man im Betriebe nicht gut mit chemisch reinen Materialien arbeiten kann, so hilft

Weißes Glas
und die Ent-
färbungsmittel.

¹⁾ Compt. rend. de l'Académie, Bd. 140, S. 1286; ausführlich wieder-
gegeben im Sprechsaal 1905, S. 998.

man sich dadurch, daß man die von solchen Beimengungen verursachten Färbungen entweder abzuschwächen oder zu verdecken sucht. Man benutzt hierzu teils chemisch (Reduktions-, vor allem aber Oxydationsmittel), teils optisch wirksame Substanzen. Als Reduktionsmittel kommt hauptsächlich arsenige Säure, als Oxydationsmittel Natronsalpeter in Betracht. Durch die optischen Entfärbungsmittel sucht man im Glase eine der störenden Färbung komplementäre zu erzeugen, um so das Glas weiß erscheinen zu lassen. Sehr beliebt ist jetzt die Anwendung von Nickel oder Nickeloxyd zu diesem Zwecke. Das wohl am meisten verbreitete Entfärbungsmittel, Braunstein, wirkt gleichzeitig chemisch und optisch. Das gleiche trifft auch auf das seit einigen Jahren als Entfärbungsmittel aufgekommene selenigsaure Natron zu. Als sehr störend tritt meistens die Färbung des Eisens auf, welches je nach dem Gang des Ofens das Glas manchmal bläulichgrün (Oxydul), bald bräunlich (Oxyd) färbt¹⁾.

Manganhaltiges
Glas.

Durch Manganzusatz entfärbte Gläser weisen die merkwürdige Eigenschaft auf, daß sie vielfach mit der Zeit schwache violette Färbung annehmen. Diese den Glasfachleuten seit altersher bekannte Erscheinung schrieb man der allmählichen Sauerstoffaufnahme seitens der im Glase enthaltenen Manganoxyside zu. Interessant in dieser Beziehung ist die Mitteilung von W. Crookes²⁾, daß manganhaltige Gläser, die den Sonnenstrahlen in Uyuni (Bolivien, 4000 m über dem Meeresspiegel), sowie in Iquique (Chile) ausgesetzt waren, in kurzer Zeit tief purpurrot bis amethystfarbig wurden. In den Goldfeldern in Westaustralien, in einer nur 20 bis 30 m über dem Meeresspiegel liegenden Gegend, trat bei Fenster- und Prismenglas schon binnen zwei Jahren die intensive Amethystfärbung auf. Beim Umschmelzen einiger solcher Probestücke im geschlossenen Tiegel erhielt man wieder farbloses Glas, welches, den Radiumstrahlen ausgesetzt, in 5 Stunden schon wieder amethystfarbigen Schein aufwies; nach einer eine Woche langen Belichtung mit Radiumbromid (eingeschlossen im Quarzröhrchen) zeigte das Glas die ursprüngliche, tief purpurne Färbung. Die durch Sonnenbestrahlung hervorgerufene Färbung ist nicht oberflächlich, sondern, wie ein Versuch mit einer Flüssigkeit von gleichem Brechungsvermögen wie das untersuchte Glas zeigte, geht die Färbung durch und durch.

1) Vergl. die bereits auf Seite 211 erwähnte Veröffentlichung von Lecrenier: Studie über farbige Gläser.

2) Chemical News 1905, Bd. 91, S. 73.

Mit derselben Erscheinung befaßte sich Franz Fischer¹⁾. Acht verschiedene Glassorten wurden der Strahlung einer Quarz-quecksilberlampe ausgesetzt. Das Glas war möglichst nahe an die Quarzwand gebracht, ohne jedoch dieselbe zu berühren. Die kurze Luftschicht zwischen Quarz und Glas wurde gelegentlich durch Wasserstoff ersetzt; anderseits wurden die Glasstücke, die sich bisweilen auf beinahe 200° erhitzten, gegen wasserdurchflossene Röhren vertauscht; in beiden Fällen wurde das Ergebnis nicht wesentlich beeinflusst. Vier von den belichteten Glassorten (1. Jenaer Verbrennungsrohr, 2. Duraxglas, beide von Schott & Gen. in Jena, 3. Deutsches und 4. Englisches Bleiglas) blieben äußerlich unverändert, die vier anderen: 1. Gewöhnliches Thüringer Glas, 2. Apparatenglas von Greiner & Co. und 3. von Bock & Fischer, 4. Normalthermometerglas von Schott & Gen. wurden innerhalb 12 Stunden lebhaft violett gefärbt; der Beginn der Färbung war schon nach einer Viertelstunde zu bemerken. Die Analyse der Gläser ergab, daß diejenigen, die sich färbten, in leicht nachweisbarer Menge Mangan enthielten (grüne Manganatschmelze), die anderen waren davon fast völlig frei. Die violette Färbung verschwindet rasch, wenn man das Glas bis zum Erweichen erhitzt, und sie läßt sich nach dem Abkühlen durch erneute Bestrahlung wieder hervorrufen. Wird bei der Bestrahlung ein Teil des Glasstückes durch ein dünnes Glimmerblättchen bedeckt, so bleibt das hinter dem Glimmer sich befindende Glas ungefärbt und das Glimmerblättchen selbst schien unverändert. Daraus läßt sich mit Sicherheit schließen, daß die violette Färbung eine direkte Wirkung der kurzwelligen Strahlung auf Mangan ist.

Lange Zeit war man geneigt, die Erscheinung, daß ein und dasselbe Element das Glas bald so, bald anders färbt, ganz allgemein auf die verschiedenen Oxydationsstufen des im Glase aufgelösten Metalles zurückzuführen. Am augenfälligsten treten diese Erscheinungen bei Gläsern auf, die Gold, Kupfer oder Silber enthalten. Das unter Zusatz von Gold geschmolzene Glas erscheint gewöhnlich fast farblos. Wird das erstarrte und erkaltete Glas von neuem angewärmt, so färbt es sich rubinrot. Wenn man das Anwärmen zu lange oder zu weit treibt, dann schlägt die Farbe wieder ins Bläuliche, dann ins Braune um, bis sich schließlich Goldpartikelchen ausscheiden. Schon Faraday erschien es nicht annehmbar, daß die in fester Glasmasse eingeschlossenen Metalle derart leicht verschiedene Oxydationsstufen durchmachen sollten, und er meinte, daß das Gold

Veränderlichkeit der Glasfärbung

1) Ber. d. Deutsch. chem. Ges. 1905, Bd. 38, S. 946.

als solches (und nicht als Oxyd) im Glase gelöst wäre. Neuerdings kam Spring¹⁾, der solche mit Gold verschiedenartig gefärbten Gläser mit den Strahlen einer sehr starken Lichtquelle durchleuchtete, zu der Ansicht, daß das Gold im gefärbten Glase metallischer Natur sei, und zwar im kolloidalen Zustande. Die verschiedenen Farbenumschläge, die das goldgefärbte Glas zeigt, erklärt Spring durch den Umstand, daß beim längeren Weichbleiben des Glases das darin außerordentlich fein verteilte (rot erscheinende) Gold sich zusammenballt und daher bläulich und bei weiterem Zusammenballen braun erscheint. Diese, auf indirektem Wege durch die graduelle Abschwächung der Lichtquelle bei Untersuchung verschieden gefärbter Goldgläser gewonnene Anschauung wurde dann in glänzender Weise durch die Arbeiten R. Zsigmondys bestätigt, der sich seit längerer Zeit mit kolloidalen Lösungen beschäftigte und nun in Verbindung mit dem Zeiß-Abbe-Schottschen Institute mit der Herstellung von Farbengläsern ganz bestimmter Nuancen und bestimmter Lichtdurchlässigkeit befaßte. Zsigmondy gelang es in der Tat, mit Hilfe des von Siedentopf in Jena ausgearbeiteten Ultraviolettmikroskopes die absoluten Größen der Goldpartikelchen in kolloidalen roten und blauen Goldlösungen festzustellen und so den Nachweis zu führen, daß der Farbumschlag von Rot in Blau durch partielle Koagulation der Kolloide bedingt ist

Überfangglas.

Farbige Gläser werden meistens nicht aus „voller“, mit entsprechenden Metalloxyden versetzter Glasmasse geblasen oder gepreßt, sondern aus „weißem“ (farblosem) Glas, welches man noch im glühenden Zustande mit einem angewärmten „Zapfen“ (Stange) Buntglas bestreicht, so daß der Gegenstand dann zwei Glasschichten übereinander aufweist („Überfangglas“). Es gibt Techniken, z. B. die von Gallé, bei denen vier bis fünf verschieden gefärbte Glasschichten übereinander aufgetragen und dann einzelne Stellen durch stärkeres oder schwächeres Ausätzen mit Flußsäure oder Ausschleifen entfernt werden, so daß bunt gemustertes Glas entsteht. Im Gegensatz zu einer anderen, sehr „modern“ gewordenen irisierenden Färbung der Glasoberfläche durch Behandlung mit Metaldämpfen (Tiffany), wobei dem Glase seine wichtigste Eigenschaft, die Durchsichtigkeit, fast völlig verloren geht, entsprechen die Überfanggläser

1) W. Spring, Sur l'illumination de quelques sortes de verres Recueil des travaux chimiques des Pays-Bas et de la Belgique 1900, Bd. 19, S. 339; R. Zsigmondy (in Gemeinschaft mit Kirchner): Über die Ursachen der Farbenänderungen von Goldgelatinepräparaten; Ann d. Physik 1904 (4), Bd 15, S. 573.

selbst bei all dem Formen- und Farbenreichtum, die Gallé ihnen gab, dem obersten Gesetze jeder echten Kunst — der Wahrheit — und sie sehen glasartig aus. Es ist daher anzunehmen, daß die wieder eingetretene künstlerische Wurdigung des Glases keine Modelaune sei. Dank diesem Anstoße ist es nicht ausgeschlossen, daß jetzt, wo auch die Erkenntnis des erzieherischen und ethischen Wertes der Hand- und Kunstfertigkeiten allgemeiner wird, auch die Verarbeitung des Glases genau so ihre Liebhaber beiderlei Geschlechts finden wird, wie die Porzellanmalerei, Photographie usw. „Nur daran sei erinnert“, heißt es in H. Eberts¹⁾ vortrefflicher Schrift, „daß das Glasblasen bei richtiger Anleitung zu den leichtesten und dabei dankbarsten manuellen Fertigkeiten gehört, die man sich aneignen kann.“

1) „Anleitung zum Glasblasen“ von H. Ebert. Leipzig, bei Barth, 1895.

V . V r c h r t l v G l i l k t r i c h Ö f t l i c h e n .

Soweit der Verfasser feststellen konnte, rührt der erste Vorschlag, Glas elektrisch zu erschmelzen, von der Firma S. Reich & Co. her, die 1881 ein Patent darauf anmeldete (D. R. P. 17736). Der vorgeschlagene Apparat (Fig. 110) besteht im wesentlichen aus dem

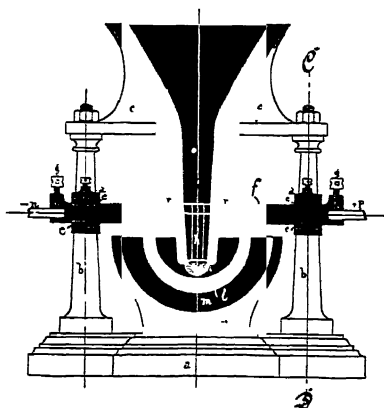


Fig. 110. Glasschmelzvorrichtung
von Reich & Co.

Porzellantrichter *o*, zwei Polstücken *ff* aus Gusstahl, dem Platinsieb *i* und dem Tiegel *l*, der mit einer guten Wärmeisolierung *m* versehen ist. Nach der Patentschrift spielt sich der Vorgang beim Schmelzen wie folgt ab: Der stark vorgewärmte Arbeitstiegel *l* wird exzentrisch zum Platinsieb eingesetzt. Zur Inbetriebsetzung beschickt man den Arbeitstiegel und den Fülltrichter je zur Hälfte mit fein gepulvertem, anderweitig gut durchgeschmolzenem Glas. Das zu

schmelzende Glasgemenge besteht aus 100 kg Sand, 40 kg Soda, 16 kg Kalk, 8 kg Mennige, 600 g Arsenik, 280 g Braunstein. Ist das Platinsieb *i* weißglühend geworden, so sickert das geschmolzene Glas aus den Sieblöchern in den Arbeitstiegel durch und, wenn dieser mit geschmolzenem Glase gefüllt ist, kann ausgearbeitet werden. Auffallend ist die Angabe in der Patentschrift: „daß zur Hervorbringung der nötigen Hitze am besten die Elektrizität sich eignet, indem man das Glas durch die Hitze des Voltaschen Bogens schmilzt“, trotz dem Umstande, daß der soeben beschriebene

1) Vergl. J. Bronn, Sprechsaal 1904, Nr. 38, 39, 40; Elektrochem. Zeitschr., die Hefte vom Oktober 1904 bis Januar 1905; Bull. de la Soc. d'Encouragement 1905, Juillet.

Apparat die Entstehung von Lichtbogen geradezu ausschließt, und daß das Platinsieb lediglich als Heizwiderstand benutzt wird. Eigentümlicherweise wird noch dazu ein bleihaltiges Glasgemenge empfohlen, wo doch allgemein bekannt ist, daß glühendes Platin sich mit bleihaltigen Gemengen durchaus nicht verträgt.

Die Mitte der 90er Jahre aufgetauchten Gerüchte über die Wunder der elektrischen Lichtbogenöfen, über deren enorme Hitze, über die Umwälzungen, die von der Kalziumkarbidindustrie erwartet wurden, veranlaßten den Glashüttenbesitzer F. H. Becker, sich die Frage zu stellen, warum man auch Glas auf elektrischem Wege nicht erzeugen soll. 1897 meldete er sein erstes Patent [D. R. P. 101 176¹⁾]

zur Erzeugung von Glas auf elektrischem Wege an. Den wichtigsten Teil des Patentes bildet der treppenartige

Schmelzkanal (Fig. 111) mit einer Anzahl Stufen b^1, b^2, b^3 , von denen jede mit einem Kohlenpaare f versehen ist. Das in den Trichter a aufgegebenen Gemenge fällt auf die erste Stufe b^1 , frittet in der

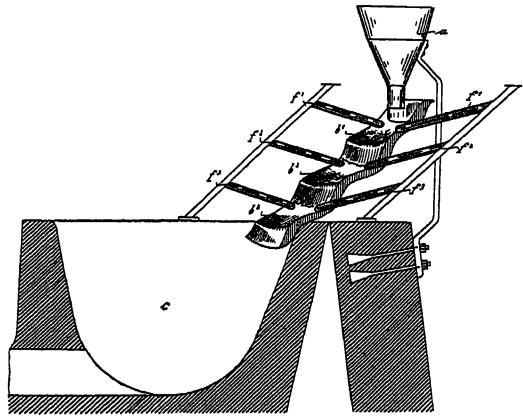


Fig 111 Schmelzofen von Becker

Hitze des Lichtbogens zusammen, rieselt auf die zweite Stufe herunter, wo die flüssige Fritte durch den zweiten Lichtbogen weiter erhitzt und auf der dritten Stufe fertig geschmolzen werden soll. Die geschmolzene Glasmasse gelangt in den Sammelraum c . Die Zwischenwände, die den Sammelraum (Fig. 112 u. 113) in drei Abteilungen c, d, e teilen, bezwecken, die Läuterung der Glasmasse zu fördern. Die Wandungen des Sammelraumes sollten von außen mittels einer Reihe von Lichtbögen g unabhängig von dem Schmelzkanal beheizt werden können, damit das Glas auch während der Ausarbeitung heiß bleibt. In einigen der entsprechenden ausländischen Patente wird zur Erhitzung des Läuterungsgefäßes neben Lichtbogenheizung auch Widerstandsheizung empfohlen, indem man

1) Die entsprechenden ausländischen Patente: Engl. Pat. 6944 von 1898, Franz. Pat. 275 627, Amerik. Pat. 664 034, Schweizer Pat. 16354 haben viel weitgehendere Patentansprüche.

die Außenwandungen des Sammelgefäßes mit elektrisch erhitzten Drähten umwickelt.

In dieselbe Zeit fallen die Veröffentlichungen über ein geradezu phantastisches Verfahren von Lühne (Engl. Pat. 23990 von 1899

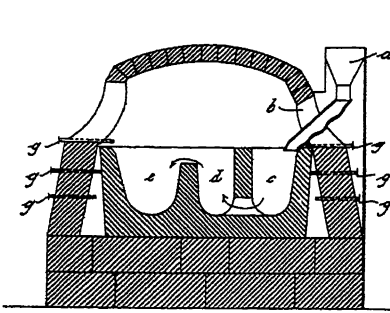


Fig. 112

Sammleranz für elektrisch geschmolzenes Glas

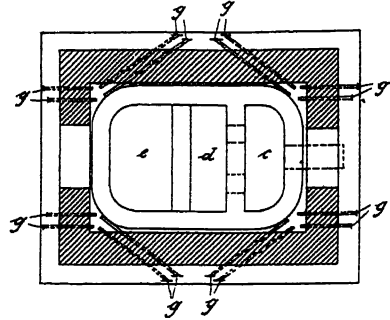


Fig. 113.

und 24148 von 1899). Der Lühnesche Ofen (Fig. 114 u. 115) enthält zwei in einem länglichen Behälter *a* angebrachte parallele Reihen

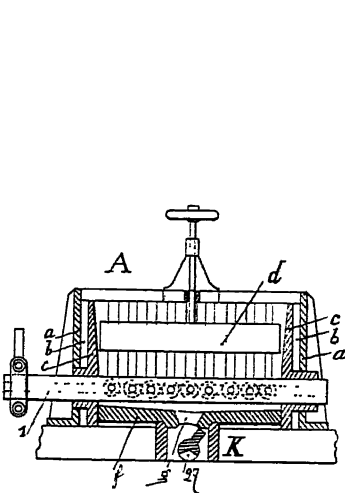


Fig. 114.

Ofen von Lühne.

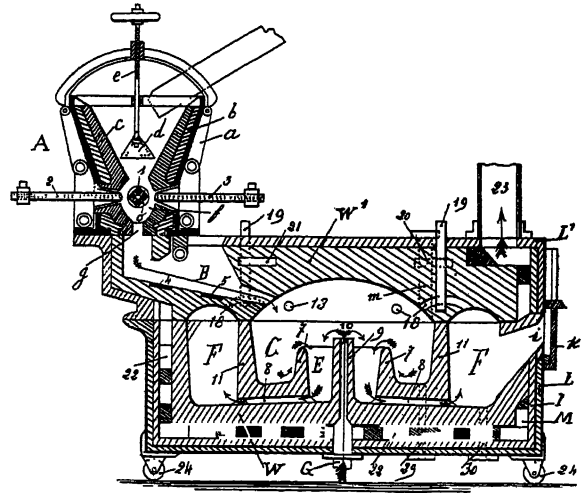


Fig. 115.

von Lichtbögen, dadurch erzeugt, daß in der Längsrichtung des Ofens ein kantiger, innen hohler Kohlenblock sich befindet, der die negative Elektrode *1* bildet und welchem eine Anzahl positiver Elektroden *2* und *3* zu beiden Seiten in der ganzen Länge des Behälters *a* gegenüberstehen. Das durch Abbrennen der Kohlenelektroden *2* und *3* nötig werdende Nachschieben derselben soll durch ein selbsttätiges Differentialwerk bewerkstelligt werden. Durch

die Hauptdurchbohrung der negativen, an einem Ende geschlossenen Elektrode *r* und die Seitenbohrungen *o* kann Wasserstoff zwischen den Lichtbogen zugeleitet werden, durch dessen Verbrennung eine Erhöhung der Temperatur der Schmelzzone sowie eine größere Lichtbogenlänge zu erzielen sei; andererseits kann durch Durchblasen eines Luftstromes durch die zu diesem Zwecke an beiden Enden offen gelassene Hauptdurchbohrung eine Kühlung der Elektrode bewirkt werden. Die Vorrichtung *d* dient zur gleichmäßigen Verteilung des durch einen Elevator zugeführten rohen Glassatzes. Das zwischen den Lichtbogen geschmolzene Glas soll durch den stellenweise mit besonderen elektrischen Heizwiderständen *4* und *5* ausgebeteten Kanal *B* nach dem Läuterungs- und Arbeitsraum *G* resp. *F* geleitet werden. Wie aus den weiteren Ausführungen sich ergeben wird, könnte die Anwendung eines in solcher Weise glühend gehaltenen Verbindungskanales ganz zweckmäßig sein, wenn man nur ein geeignetes, in der Glasmasse unlösliches, dabei aber leitendes Material für die Heizwiderstände zur Verfügung hätte. In den Patenten von Lühne fehlen über diesen Punkt jegliche Angaben.

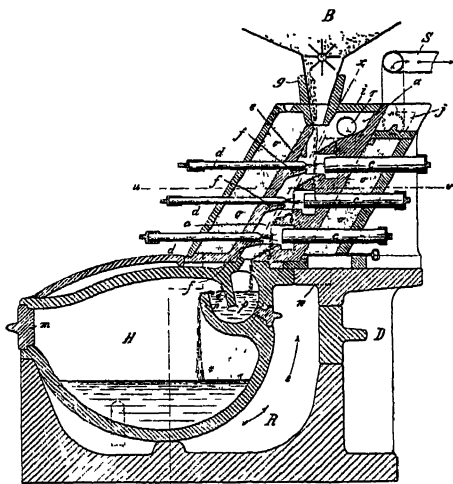


Fig. 116. Doppelwandiger Schmelzstein von Becker.

Ein weiteres Patent von F. H. Becker (D. R. P. 138416, Fig. 116) betrifft die Absperrung der Elektrodenöffnungen gegen Luftzutritt, um so den Abbrand der Elektroden zu verringern. Zu diesem Zwecke soll der Schmelzstein mit Doppelwänden versehen und der zwischen den Wänden bleibende Hohlraum *O* mit irgendwelcher pulverigen Masse, eventuell auch mit Glasgemenge ausgefüllt werden. Um die schmelzende Glasfritte von dem Kohlenstaubabfall, der von den Elektroden herrührt, zu schützen, wurden an den Wänden des Schmelzkanals Aschen- und Abbrandfänger *b* und *f* angebracht; zur Verhinderung eines zu starken Luftzutrittes von unten war eine Art hydraulischen Verschlusses *p* mit geschmolzener Glasmasse als Sperrflüssigkeit vorgesehen. Sind auch einige Einzelheiten in dieser Konstruktion durchaus nicht unzweckmäßig, so leidet doch das Ganze

daran, daß unter Einwirkung der Lichtbogen und der alles auflösenden Glasschmelze öfters schon nach wenigen Betriebsstunden der Apparat völlig versagt.

Eine Reihe weiterer auf den Namen „Gesellschaft zur Verwertung der Patente für Glaserzeugung auf elektrischem Wege“, Becker & Co.¹⁾ erteilten Patente rührt von Dr. A. Voelker her. Das D. R. P. 134935²⁾ (vergl. Fig. 117) empfiehlt die Anwendung einer Überdachung *p*, um die Wärmeausstrahlung der Lichtbogen besser auszunutzen und das rohe Glasgemenge erst vorgewärmt in die Licht-

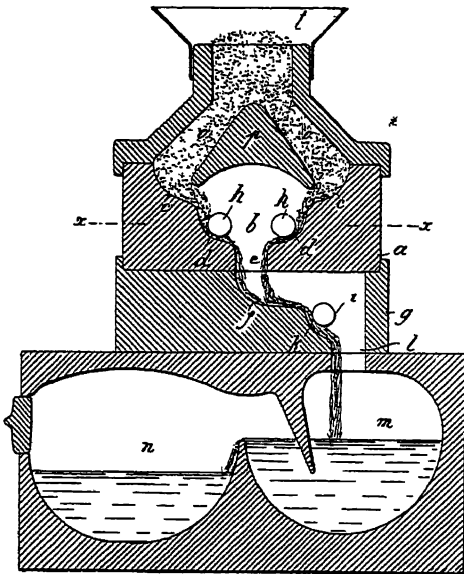


Fig. 117. Lichtbogenofen von Voelker.

bogen gelangen zu lassen. Dieser günstigen Wirkung der Überdachung *p* und der Anordnungsart der Lichtbogen *hh* stehen jedoch auch schwer ins Gewicht fallende Nachteile entgegen, da man von keiner Seite des Ofens leicht zugängige Schaulöcher anbringen kann, und weil das Schmelzgut oft schon im Zwischenraume *O* erweichte, zusammenklebte und so den ganzen Betrieb störte.

Schon bei den ersten Versuchen zeigte es sich, wie schwer es ist, Glas mittels Lichtbogen allein fertig zu schmelzen, und der Umstand, daß die flüssige Glasschmelze den elektrischen Strom gut leitet, gab Anlaß zu einer Art Kombination von Lichtbogen- mit Widerstandsheizung [D. R. P. 124702³⁾, Fig. 118]. Der durch die Förderschnecken *b* den Lichtbogen *cd* zugeführte Glassatz wird in diesen vorgeschmolzen und fließt nach dem Läuterungsraume *f*, wo die flüssige, leitend gewordene Glasmasse mit den Elektrodenplatten *m*, *n* in Berührung kommt. Damit nicht die ganze Glasmasse durch Berührung mit den aus Kohlenplatten bestehenden Elektroden ver-

1) Der Abkürzung halber wird in den weiteren Ausführungen diese Firma als Becker & Co. bezeichnet.

2) Schweiz. Pat. 21930, Belg. Pat. 150783, Oesterreich. Pat. 3278.

3) Engl. Pat. 12672 von 1900, Franz. Pat. 302388, Amerik. Pat. 698766, Schweiz. Pat. 22245.

unreinigt werde, ist die Anbringung von durchlochten Zwischenwänden g , h , welche wohl den Stromdurchgang vermitteln, die Durchmischung der Glasmasse aber verhindern sollten, vorgesehen worden. Durch die Überläufe o sollte dann die so geläuterte Glasschmelze nach dem Ausarbeitungsraume p abfließen. Eine weitere Konstruktion [D. R. P. 128150¹⁾, Fig. 119] kann weder in prinzipieller noch in konstruktiver Hinsicht besonderes Interesse erwecken. Das Glasgemenge soll in den Schmelzkanälen, welche mit Lichtbogenelektroden c , d , wie auch mit Jablockkoffschen Kerzen ausgestattet

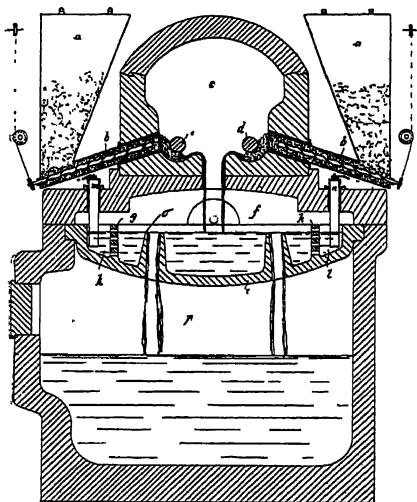


Fig. 118.

Kombinierte Lichtbogen- und Widerstandsheizung von Voelker.

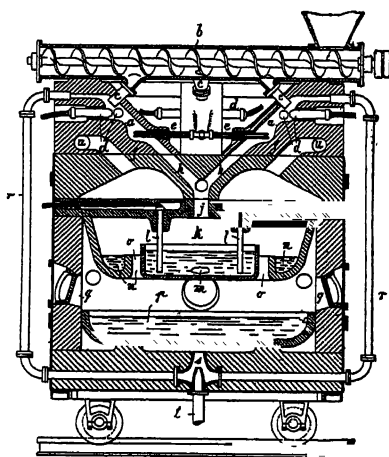


Fig. 119.

sein können, vorgeschmolzen und in dem Läuterungshafen k durch Einschaltung in den Stromkreis l weiter erhitzt werden; das geläuterte Glas fließt in den Behälter p , von wo aus es ausgearbeitet werden kann. Als neu wird in der Patentschrift die sternförmige Anordnung mehrerer Schmelzkanäle aa bezeichnet.

Ferner wird in dem D. R. P. 131291²⁾ empfohlen, das rohe Glasgemenge, welches ausschließlich aus Nichtleitern besteht, durch Zusatz von etwa 10% Graphit, Kohlenpulver usw. schon in kaltem Zustande leitend zu machen und als Heizwiderstand in den Stromkreis einzuschalten. Da man jedoch bis jetzt keine leitenden Substanzen kennt, deren Zusatz die Färbung des Glases unbeeinflusst

1) Engl. Pat. 23903 von 1900, Franz. Pat. 306704, Amerik. Pat. 706283, Schweiz. Pat. 25609.

2) Engl. Pat. 12673 von 1900, Amerik. Pat. 702081, Schweiz. Pat. 22244.

ließe, kann dieses Verfahren höchstens nur zur Herstellung von schwarzen Glasmassen dienen.

Die erste kleine, kontinuierlich arbeitende Versuchsanlage wurde im Lenne-Elektrizitätswerke bei Plettenberg in Westfalen errichtet und blieb doch etwa ein Jahr im Betriebe. Der Ofen (Fig. 120) bestand aus einem Schmelzkanal mit drei Lichtbogen und einem sich

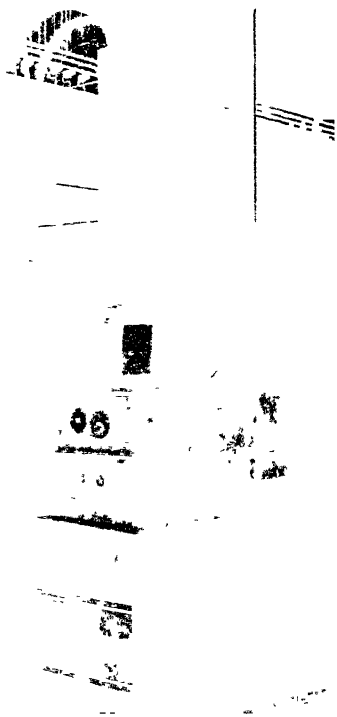


Fig. 120. Versuchsofen in Plettenberg.

darunter befindenden Hafen von etwa 30 bis 40 Liter Inhalt, der durch Koksfeuer heiß gehalten wurde. Das angefertigte Glas wurde in der daneben angebrachten, durch die Abhitze der Koksfeuerung warm gehaltenen Kammer langsam abgekühlt.

Zur Anstellung der Versuche im kleinen bediente sich der Verfasser des vom Straßennetz in Köln gelieferten zweiphasigen Wechselstromes von 2000 Volt und 100 Wechseln in der Sekunde, der durch einen eigenen 20 Kilowatt-Transformator mit Nullpunkt auf 110 und etwa 55 Volt¹⁾ reduziert wurde. Drei Hauptleitungen führten den Strom nach dem Arbeitsraume (Fig. 121); derselbe enthielt einen Hauptausschalter 1, ein Schaltbrett mit drei Amperemetern, drei Voltmetern, Sicherungen *s* und Umschaltern *u*, die den Strom von 110

und von 55 Volt zu entnehmen gestatteten. Vom Schaltbrett gingen drei Anschlüsse direkt zu den Klemmen der Schieferplatte 3, und in jede der anderen drei zu den Klemmen der Schieferplatte 5 führenden Leitungen waren unabhängig voneinander regulierbare starke Vor-schaltwiderstände 4 eingeschaltet.

Von den Schieferplatten 3 und 5 führten sechs sehr biegsame Kabelseile von je 50 qmm Querschnitt zu den als Elektroden (Fig. 122) benutzten Lichtbogenkohlen (*r*) von 25 bis 40 mm Durch-

1) Vergl. Randbemerkung zu S. 80 betreffend Spannungsabfall zwischen Phasenleitung und dem Nullpunkte.

messer und 400 bis 600 mm Länge. Den Anschluß der Kabelseile an die Kohlen vermittelten die mit starken Schrauben versehenen Messingköpfe 2, so daß einerseits für den Stromübergang von dem Messingkopfe zur Kohle große Oberflächen geschaffen und andererseits die Seile nur durch Verschraubungen festgehalten wurden, da bei derartigen Versuchen die Anwendung von Lötstellen nicht statthaft ist. Die Messingköpfe waren noch mit langen abschraubbaren Holzgriffen, die auch als Führungen dienten, versehen, wodurch die Einstellung der Elektroden vereinfacht wurde. Von selbsttätig

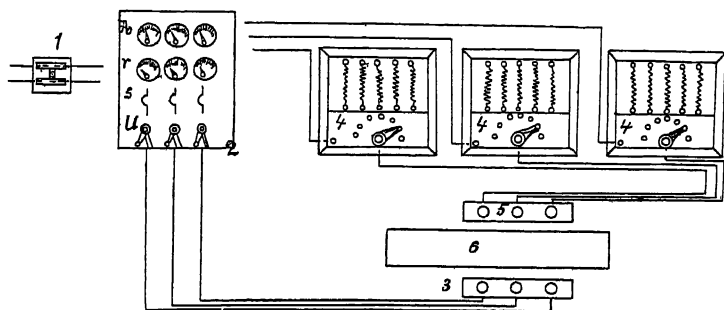


Fig. 121. Versuchsraum zum Schmelzen von Glas.



Fig. 122. Kohlenelektrode nebst Führung.

wirkenden Reguliervorrichtungen für die Elektroden wurde vorerst abgesehen.

Der Ofen (Fig. 123), dessen einzelne Teile von einem Glas-hafenmacher aus Hafenton geformt und nur in einem Temperofen verglüt wurden, enthielt zwei übereinander angeordnete Schmelzsteine, von denen der obere (5) für zwei Elektrodenpaare und der untere (4) für ein Elektrodenpaar eingerichtet war. Das in den Flambbogen vorgeschmolzene Glas floß in den mit dem Deckel (3) überdeckten Hafen (2), der 5 bis 8 Liter fassen konnte. Der Hafen war mit einem ebenfalls aus Ton gefertigten Mantel (1) umgeben. Durch die in diesem ausgesparten Öffnungen (7) waren zwei oder drei starke Fletschergasbrenner eingeführt, um das Glas im Hafen heiß zu erhalten. Der rohe Glassatz wurde durch eine im Deckel (6) ausgesparte Öffnung (12) eingetragen; durch die Schaulöcher (11) konnten die einzelnen Phasen des Schmelzens beobachtet werden und mit einem Eisenhaken Proben von der Glasfritte sowie von der

Glasmasse gezogen werden. Um die Vorgänge im Lichtbogen beobachten zu können, empfiehlt sich die Anwendung einer grünen und vor dieser einer violetten Glasscheibe, die in einem Holz- oder Papprahmen zusammengehalten werden. Man wähle die Scheiben nicht zu klein, damit nicht nur die Augen, sondern das ganze Gesicht von der Lichtbogenstrahlung geschützt wird. Im allgemeinen kann nicht genug Vorsicht beim Arbeiten mit starken Lichtbogen geboten werden, und auf die Dauer sind dabei sehr schmerzhaft Augen-erkrankungen kaum zu verhüten¹⁾. Damit die Flambogen durch die abziehenden Verbrennungsgase nicht beeinträchtigt werden, wurden

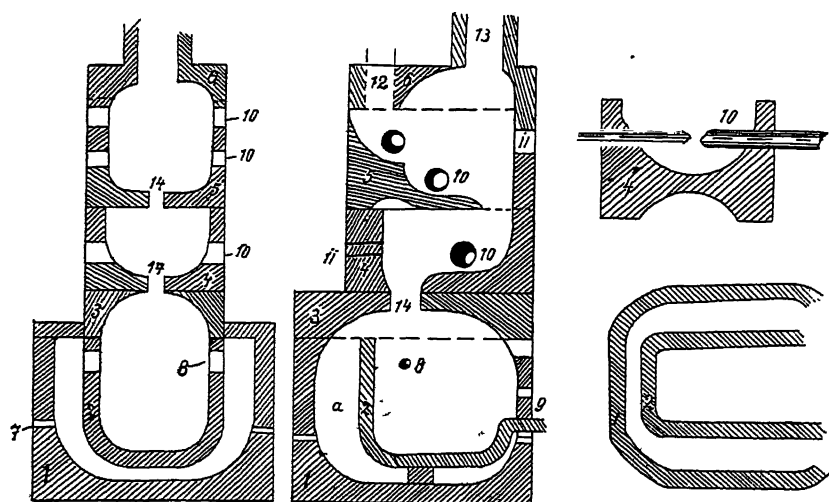


Fig. 123. Experimentierofen I.

oft Schmelzsteine gebraucht, die (Fig. 124) mit senkrecht verlaufenden Kanälen (16) versehen waren. Auch der Hafendeckel (3) (Fig. 123) hatte dann diesen Kanälen entsprechende Öffnungen, so daß der weitaus größte Teil der Verbrennungsgase, ohne die Flambogen zu berühren, nach dem Abzug 13 entweichen könnte. Auch bei dieser Art des Abziehens der Gase blieben die Lichtbogen der Einwirkung des Zuges ausgesetzt, welcher sich dadurch kennbar machte, daß die Lichtbogen sich nach oben richteten und infolgedessen nur geringen Heizeffekt auf die darunter schmelzende Glasmasse ausübten. Da obendrein noch öfters Schornsteinansätze aus dem Abzuge 13 in die

1) Die durch Lichtbogen bewirkte Augenentzündung ist als Ophthalmia electrica beschrieben. Sie ist meist von kurzer Dauer, aber außerordentlich schmerzhaft. Wie die Ärzte behaupten, können diese Entzündungen bei häufiger Wiederholung den grauen Star hervorrufen. Vergl. S. 214.

Glasschmelze hereinfielen, ging der Verfasser zu der Anordnung nach Fig. 125 über. Hier waren nun die Lichtbogen einem Zuge nach unten ausgesetzt, wodurch ihre Heizwirkung bedeutend besser ausgenutzt werden konnte. Auch Versuche zur Ablenkung der Lichtbogen nach einer bestimmten Richtung hin mittels eines Elektromagneten (M) konnten bei dieser Anordnung bequem ausgeführt werden.

Die dem Verfasser gestellte Aufgabe, ein zum Schmelzen im Lichtbogen geeignetes Glasgemenge ausfindig zu machen, erwies sich gar zu bald als ziemlich gegenstandslos, weil die Versuchsschmelzungen

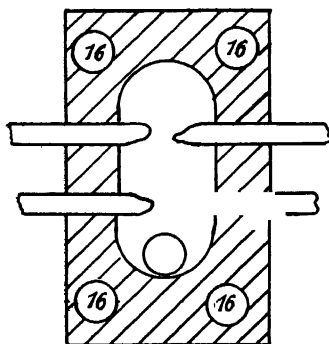


Fig. 124. Schmelzstein mit Gaszügen.

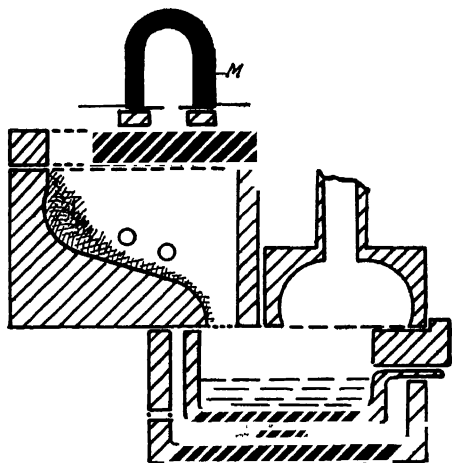


Fig. 125. Experimentierofen II.

immer darauf hinwiesen, daß wenigstens bei den bis jetzt beschriebenen Anordnungen das erhaltene Glas und namentlich dessen Färbung von der Zusammensetzung des zum Schmelzen kommenden Glasgemenges unabhängig war. Um den Grund hierfür zu finden, wurden die weiteren Versuche mit einem von einer befreundeten Glashütte bezogenen Glassatze aufgestellt, der aus 100 kg rheinischem Kristallsand, 40 kg Soda, 2,5 kg Natronsalpeter, 15 kg kohlsaurem Kalk und etwas Antimonoxyd, Braunstein und Kobaltoxyd bestand und im Hafenofer der Glashütte völlig weißes Glas ergab. Bei dem Schmelzen im Lichtbogen erhielt man jedoch ein sehr verschiedenartig und unregelmäßig gefärbtes Glas, und es war nicht schwer festzustellen, daß die Färbungen ausschließlich und allein von den Elektrodenkohlen herrühren. Durch Beobachtung der Lichtbogen mittels eines Schutzschirmes ließ sich zwar feststellen, daß die Kohlenpartikelchen, die von einer Elektrode zur anderen

herübergeschleudert wurden und gewissermaßen einen Teil der Lichtbogenerscheinung bildeten, auf die Glasmasse keinen merklichen Einfluß ausübten. Anders verhielt es sich mit dem graphitartigen, schuppenförmigen Kohlenstaub, der nach und nach die ganze Oberfläche der in den Ofen hineinragenden Elektroden bedeckte. Bei der jedesmaligen Zufuhr von frischem Glasgemenge, beim Nachregulieren der Elektroden, oder wenn zeitweise im Schmelzkanal so viel Glasgemenge sich ansammelte, daß es die Elektroden berührte, löste sich der Kohlenstaub von den Elektrodenflächen ab und färbte nun die Glasmasse in allen Schattierungen von hellgrün bis dunkelbraun. Die Beseitigung des Übels auf chemischem Wege, etwa durch Zusatz von mehr Salpeter zum Glassatz, um die Kohlenpartikelchen zu verbrennen, wollte nicht gelingen. Wohl wurde dabei das erschmolzene Glas viel heller und sogar weiß, aber es enthielt viele ungeschmolzene Sandkörner; der große Salpetergehalt macht nämlich den Glassatz (selbst bei entsprechender Verminderung des Sodagehaltes, um das Glas nicht zu alkalireich zu machen) zu frühzeitig dünnflüssig, so daß die im Schmelzen begriffene Masse, noch bevor die Sandkörner Zeit haben sich aufzulösen, die Wirkungszone des Lichtbogens verläßt. Verlangsamt man dagegen z. B. durch Verringerung des Neigungswinkels im Schmelzkanal den Schmelzprozeß, so wird ein großer Teil des Salpeters noch vor dem eigentlichen Schmelzen zer setzt und verliert mithin seine oxydierende Wirkung.

Der Zusatz von Oxydationsmitteln (Salpeter, Braunstein, übermangansaure Salze) in das bereits geschmolzene und in den unteren Behälter gelangte Glas war selten von Erfolg, was ja bei der ganz unberechenbaren Stärke der jeweiligen Verunreinigung erklärlich ist.

Bei diesen Versuchen konnte festgestellt werden, daß, je länger der Lichtbogen war, desto mehr Staub fiel von den Kohlen ab, und daß andererseits dieser Übelstand um so geringer war, je ruhiger der Bogen brannte. Stärkere Elektroden verursachten unter sonst gleichen Bedingungen weniger Verunreinigungen als solche von geringerem Durchmesser. So sehr diese Wahrnehmung auch wertvoll erschien, so konnte sie doch nur wenig ausgenutzt werden, weil der verfügbare Raum des Schmelzkanales die Anwendung allzu starker Elektroden nicht zuließ und außerdem es oft vorkam, daß bei starken Elektroden der Bogen zwischen den oberen Rändern der Kohlen spielte und so den Glassatz kaum berührte; zum Schmelzen ist aber nötig, daß der Lichtbogen das Schmelzgut fast oder ganz berührt. Ein viel ruhigeres „Brennen“ des Lichtbogens wird zwar, wie bereits

Moissan konstatierte, zwischen halbkugelförmig abgeschliffenen Elektrodenenden erzielt. Dies gilt jedoch nur für kurz dauernde Versuche, da schon nach wenigen Stunden die Elektroden spitz abbrennen (vergl. Fig. 124) und verhalten sich dann wie dünne Elektroden. Um die Entstehung von Kohlenstaub durch Reibung der sehr heißen Elektroden in den Öffnungen 10 des Schmelzsteines (Fig. 123) zu verringern, wurde diesen Öffnungen eine konische, nach außen abfallende Form (vergl. Fig. 126) gegeben; außerdem wurden oft Porzellanringe als Einführungsöffnungen in die Schmelzsteine eingesetzt. Aus der Fig. 126 ist auch zu ersehen, wie sich der anfangs geradwandige Schmelzraum nach mehrmaligem Schmelzen verändert. Von einigem Nutzen erwies sich das Bestreichen der in den Ofen hineinragenden Elektrodenenden mit einer Aufschlammung von Asbest in Wasserglas; es bildet sich dabei um die Elektrode ein schützender Überzug, der aber höchstens einen zwei bis drei Stunden langen Versuch aushält und vor jedem Versuche erneuert werden muß. Bei einigen Versuchen wurden die Elektrodenenden in eng schließende Hülzen aus dünnem Nickelblech eingefast, um auf diese Weise den Abbrand der Kohlen zu verringern, wobei angenommen wurde, daß etwaiges sich dabei bildendes und in die Glasschmelze gelangendes Nickeloxyd auf dieselbe entfärbend wirken wird¹⁾; das erhaltene Glas war zwar gut durchgeschmolzen, aber rauchfarbig.

Der bereits erwähnte Umstand, daß bei dicken Elektroden der Abbrand weniger stark hervortrat, ließ die Vermutung aufkommen, daß dabei der innere Leitwiderstand der Kohle von maßgebender Bedeutung ist, und da es nicht angängig war, durch Vergrößerung des Querschnittes den inneren Widerstand der Elektrodenkohlen und die mit diesem verknüpfte Erhitzung der Kohlen zu verringern, versuchte der Verfasser durch Anwendung von graphitischen Kohlen, die fast eine dreifache Leitfähigkeit im Vergleiche zu den gewöhnlichen haben, Abhilfe zu schaffen. Der Abbrand verringerte sich in der Tat ganz bedeutend, aber auch der Lichtbogen verhielt sich nun ganz anders als bei gewöhnlichen Elektrodenkohlen, indem er bei gleicher Stromspannung viel kürzer und unbeständiger wurde und nur einen geringen Heizeffekt zeigte. Noch ungünstigere Ergebnisse zeigten die Versuche mit metallischen wassergekühlten Elektroden.

1) Nickeloxyd ist in vielen Glashütten als Entfärbungsmittel im Gebrauche, um der färbenden Wirkung der Eisen- und Schwefelverbindungen entgegenzuwirken.

Bei den weiteren Versuchen wurden daher teils homogene, teils Dochkohlen, die am ruhigsten „brannten“, verwendet. Wenn der Ofen nach etwa einer Viertelstunde sich einreguliert hatte und der Schmelzprozeß ruhig vor sich ging, behielten häufig die Ampere-meter und Voltmeter ihre heftigen Schwankungen, wobei der Schmelzprozeß als eine Art Kombination zwischen Lichtbogen- und Widerstandsheizung verlief. Die Schmelze zeigte dann das durch die Fig. 126 veranschaulichte Bild: ein der Entfernung der beiden Elektroden entsprechend langer Lichtbogen ist nicht zu sehen, dagegen geht von jeder Elektrode zur Glasoberfläche ein winziger Funke über, und die beiden Funken sind durch eine besonders hellleuchtende Glasschicht verbunden, die den Stromdurchgang markiert und die als Lichtbrücke erscheint. Diese Erhitzungsart bietet vielerlei Vorteile im Vergleiche zur reinen Lichtbogen- wie reinen Wider-

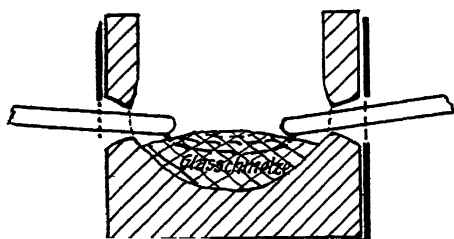


Fig. 126. „Lichtbrücke“ in der Glasschmelze.

standsheizung, und der einmal eingeleitete Schmelzprozeß geht glatt vor sich, solange zwischen der Zufuhr des Glassatzes und dem Abflusse der Glasmenge Gleichgewicht eingehalten wird. Da das rohe Glasgemenge schon vor dem Lichtbogen leicht zusammenfrittet,

so gelangt es in die Schmelzzone meistens stoßweise, und in dem Momente, wo durch Eintritt einer kälteren Masse die Temperatur der Schmelze etwas sinkt, verschwindet die Lichtbrücke, um einige Augenblicke später ganz von selbst wieder zu erscheinen; häufig kommt es jedoch vor, daß die Lichtbrücke etwas länger, vielleicht eine Minute, ausbleibt, wobei die vor dem Abflußloche angelangte Glasmasse dick wird und sich staut, so daß, wenn die Lichtbrücke von neuem erscheint, das Abfließen der heißen Schmelze durch die vor dem Abflusse befindliche zähe Glasschicht gehemmt wird; infolgedessen überhitzt sich die in der unmittelbaren Nähe der Elektroden sich befindende Glasmasse und überhitzt auch den Boden des Schmelzsteines; in wenigen Minuten wird dann auch dieser elektrisch leitend und beginnt sich in der Glasschmelze aufzulösen; das Glas wird hierdurch, selbst wenn man den Stein, um Tonerdebeimengungen im Glase zu vermeiden, aus reinem Sande formt, zähflüssig, und wenn diese Störungen nicht sofort verhindert werden können, so ist das ratsamste, den Versuch zu unterbrechen, da sonst der Boden

des Schmelzsteines „durchbohrt“ wird. Der innere Widerstand des Ofens schwankt, je nachdem, ob Lichtbogen oder Lichtbrücke vorherrscht, sehr erheblich. Beim reinen Lichtbogen betrug die Spannung etwa 70 Volt, um beim Erscheinen der Lichtbrücke auf etwa 40 Volt zu sinken. Mit der Stromstärke verhält es sich umgekehrt: während der Dauer der Lichtbrücke zeigt das Amperemeter etwa 100 Amp. und bei Lichtbogen etwa 60 Amp. an. Meistens war es so, daß zwischen dem ersten Kohlenpaar ein Lichtbogen und zwischen den anderen Elektrodenpaaren Lichtbrücken zu beobachten waren.

Der Stromverbrauch bei diesen Versuchen betrug 4 bis 5 Kilowattstunden pro Kilogramm erschmolzenen Glases; das erhaltene Glas war bedeutend kieselsäurereicher als der benutzte Glassatz. Diese Verschiebung im Kieselsäuregehalte hing mit der Schnelligkeit des Schmelzens zusammen: je langsamer dieses vor sich ging, desto mehr Alkali war verdampft. Bei Versuchen, kiesel-

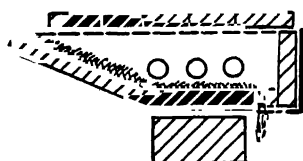


Fig. 127. Mit Sand ausgestampfter Blechkasten als Schmelzstein.

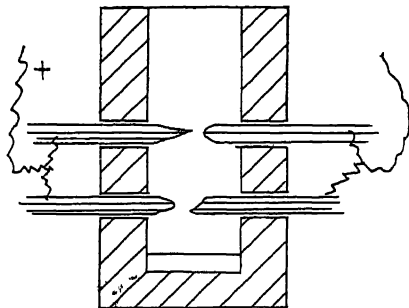


Fig. 128. Schmelzstein mit zwei parallel geschalteten Kohlenpaaren und gemeinsamen Zuleitungen.

säurereiche Gläser herzustellen, bediente sich der Verfasser eines mit Dinassteinen ausgefüllten Blechkastens (Fig. 127); statt der Dinassteine kann man auch nassen, mit einer Spur Wasserglas versetzten Sand benutzen, damit durch etwaiges Abschmelzen der Ausfütterung die Zusammensetzung des Glases nicht wesentlich beeinflusst wird. Für kleinere Versuche genügen ein bis zwei Lichtbogen und Elektroden von 25 mm Durchmesser. Von wie großem Einflusse scheinbar ganz geringfügige Einzelheiten dabei sind, kann man aus folgendem ersehen: Bei Anwendung von zwei Lichtbogen in Parallelschaltung und von insgesamt 100 bis 120 Amp. Wechselstrom war es z. B. sehr schwierig, die beiden Lichtbogen zu unterhalten, wenn die zwei Kohlenpaare an gemeinsamen Kupferseilen (vergl. Fig. 128) angeschlossen waren; gewöhnlich blieb dabei nur ein Lichtbogen bestehen, sei es an der Stelle, wo das Glas heißer, oder wo die Entfernung zwischen den entgegengesetzten Elektroden kleiner war. Wurde aber der Strom für die einzelnen Elektroden von den etwa

4 m entfernten Stromanschlüssen durch getrennte Kupferseile entnommen, so daß die letzteren einen, wenn auch kleinen Zusatzwiderstand zwischen den beiden Lichtbogen bildeten, so trat die obige Schwierigkeit nicht auf; arbeitete man mit größeren Stromstärken (300 bis 400 Amp.), so konnte man ohne Bedenken die gleichnamigen Elektroden auch an gemeinschaftliche Zuleitungen anschließen.

Beim Schmelzen von sehr strengflüssigen Gemengen trat oft der Fall ein, daß die im ersten Lichtbogen gebildete Schmelze auf dem Wege zum zweiten Lichtbogen so zähe wurde, daß sie nicht weiter floß und infolgedessen sich zwischen den beiden Elektroden anhäufte. Es empfiehlt sich, in solchen Fällen die Elektrodenpaare so nahe wie nur möglich aneinander zu bringen und unter Berücksichtigung

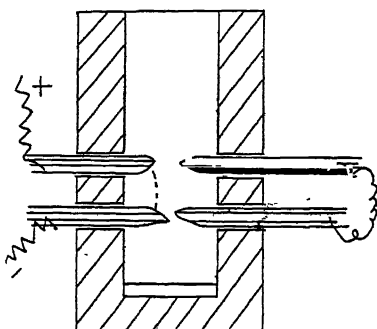


Fig. 129.
Entstehung eines Lichtbogens in der Längsrichtung des Schmelzsteines.

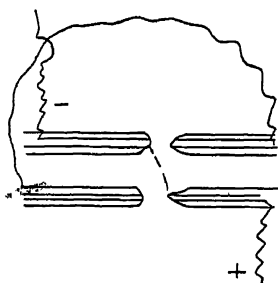


Fig. 130.

sichtigung der vorher erwähnten Maßregeln die Parallelschaltung zu benutzen; ist nämlich die Entfernung zwischen den Elektrodenpaaren nur gering, so bildet sich bei Serienschaltung der Lichtbogen häufig in der Längsrichtung des Ofens aus (vergl. Fig. 129 u. 130).

Beim Schmelzen von kieselssäurereichen Gemengen entstanden meistens opalartig getrübte, zart nuancierte Gläser, die in den Bijouteriefabriken viel Anklang fanden; leider eignete sich das Glas zur Verarbeitung vor der Lampe nicht.

Schon früher wurde erwähnt, daß bei gewissen Versuchen ein Elektromagnet benutzt wurde, der bekanntlich je nach der Schaltungsweise den Lichtbogen anzieht oder abstößt. Der zum Arbeiten mit Wechselstrom benutzte „offene“ (Fig. 131 u. 132) Elektromagnet wurde in den Stromkreis des ersten Lichtbogens eingeschaltet und wirkte trotz der etwa 20 cm weiten Entfernung recht gut. Ungeachtet dessen kann die Anwendung von Magneten recht zweischneidig sein, da der Lichtbogen dabei zu einer scharfen Stichflamme von nur geringer Heizfläche ausgebildet wird, die noch dazu

die Wandung oder den Boden des Schmelzsteines leicht durchbohren kann; die Vorteile aber, namentlich die Beständigkeit der Lichtbogenrichtung, die durch die Verwendung von Magneten erzielt werden sollen, lassen sich durch möglichst gleichmäßige Zufuhr des etwas vorgewärmten Glassatzes und durch Einhaltung einesmäßigen Durchzuges von heißen Gasen herbeiführen. Erwägungen

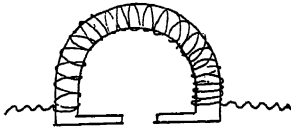


Fig. 131.
Ein „offener“ Elektromagnet.

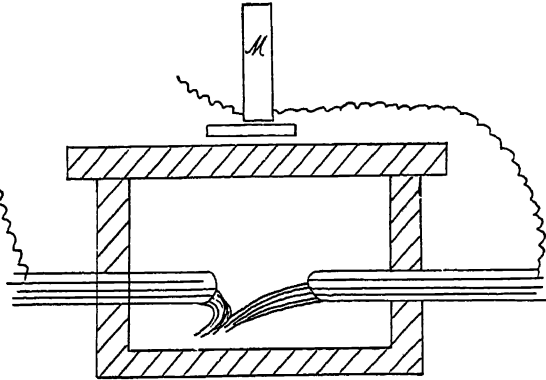


Fig. 132. Anordnung und Wirkungsweise des Elektromagneten

dieser Art führten den Verfasser dazu, den Glassatz zusammenzupressen [D. R. P. 151657¹⁾, Fig. 133 u. 134] und ihn in brikettierter bzw. Stangenform den Lichtbogen zuzuführen. Als Bindemittel

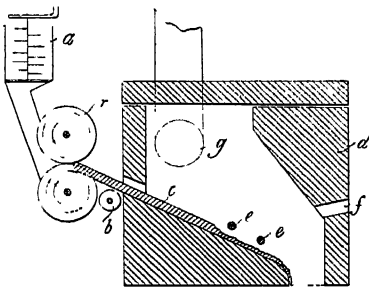


Fig. 133. Schmelzen von zusammengepreßtem Glassatz.

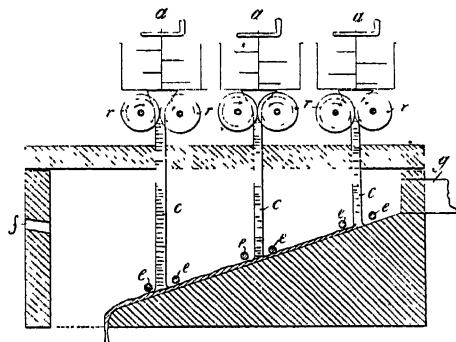


Fig. 134. Schmelzen von zu Stangen gepreßtem Glassatz.

genügt etwas Wasser. Die Versuche mit dem Schmelzsteine nach Fig. 133, in welcher *a* die Anfeuchtungs- und Mischapparate, *r* die Preßwalzen, *c* das brikettierte Glasgemenge, *e* die Lichtbogen, *f* ein Schauloch, *g* den Abzug für Gase bezeichnet, ergaben in der Tat eine Verringerung der Verunreinigungen und eine höhere Leistung.

1) Engl. Pat. 17656 von 1901; Franz. Pat. 313917; Amerik. Pat. 708309. Einige der Patente lauten auf den Namen der beteiligten Firmen.

Die Fig. 135 u. 136 geben die Gesamtansicht und Fig. 137 die Querschnitte eines größeren Versuchsofens zum Schmelzen von Glas wieder, der 1902 in einem Tiroler Karbidwerke errichtet wurde.

Da keinerlei Erfahrungen vorlagen, größere Mengen von Glas anders als durch Kohlen- bzw. Gasfeuerung in verarbeitungsfähigem Zustande zu erhalten, so wurde der Ofen mit einem Feuerungsrost 1 und Luftkanälen 2 zur Vorwärmung der Verbrennungsluft versehen. Die Feuerungsgase umspülten die Häfen 3 (Fig. 137 und außerdem



Fig. 135. Elektrischer Glasschmelzofen, bei dem die Schmelzsteine nur abwechselnd beschickt wurden.

138), von denen jeder 80 bis 100 Liter faßte, und entwichen durch die Abzüge 4. Das Glasgemenge kam aus einem mit Rüttelvorrichtung versehenen Trichter in gleichmäßigem Strome in zwei mit je drei Lichtbogen ausgerüstete Schmelzsteine 5 (Fig. 137 und außerdem 139) und gelangte nach dem Schmelzen auf der schrägen Sohle der Steine durch die breiten Stützen 6 (ebenfalls aus Hafenton) zuerst in die Abteilung I der Häfen, von dort in die Abteilung II, aus welcher dann die Glasmasse durch die Arbeitsöffnung 7 mit der Pfeife entnommen wurde.

Zur Verfügung stand Gleichstrom von 140 Volt. Bei den meisten Schmelzungen wurden die drei Lichtbogen in Serie geschaltet. Der Abbrand der Elektroden (vergl. Fig. 139) war nicht gleichmäßig,

und einzelne Stellen des Schmelzsteines (in der Nähe der negativen Elektroden) zeigten die Bestrebung, durchzuschmelzen. Die Elektroden waren mittels Schraubenspindeln nebst Zahnradübersetzung einzeln regulierbar. Bei den ersten Versuchen konnte pro Stunde



Fig 136 Elektrischer Glasschmelzofen mit gleichzeitiger Beschickung von zwei Schmelzsteinen (R ist ein gebrauchsfertiger Reserveschmelzstein)

und Schmelzstein mit einem Stromaufwande von 200 Amp. \times 140 Volt (also ungefähr 40 P S.) 8 kg Glassatz geschmolzen werden. Später konnte mit dem gleichen Kraftaufwand fast das Doppelte herausgebracht werden. Der benutzte Glassatz bestand aus 1000 Teilen Sand, 400 Teilen Soda, 200 Teilen Marmormehl, 2 Teilen Natronsalpeter; andere Entfärbungsmittel wurden nicht zugegeben. Das erhaltene Glas war hellgelb bis braungelb, klar durchgeschmolzen, enthielt aber öfters ungeschmolzene kleine Steinchen.

Die Fortführung des Betriebes ergab viele Schwierigkeiten, die, einzeln für sich betrachtet, durchaus nicht unüberwindlich sind. Verhängnisvoll war dabei jedoch der Umstand, daß die Beseitigung

einer der Schwierigkeiten meistens die Verschlimmerung eines anderen Übelstandes mit sich brachte. Beim Arbeiten mit den Schmelzsteinen kommt sehr viel auf die Einhaltung der richtigen Stellung der Elektroden an. Infolge des immerhin erheblichen Querschnittes

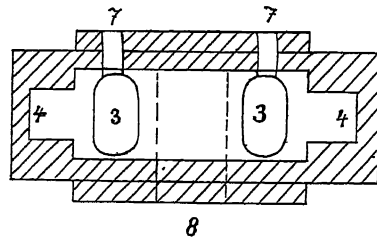
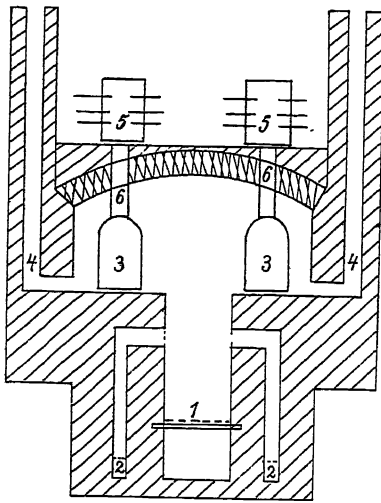


Fig. 137. Senkrechter und wagerechter Querschnitt durch den elektrischen Glasschmelzofen.

der Elektroden und des Gewichtes der Kupferseile mußten die Elektrodenhalter massiv und dabei genau regulierbar sein. Die übersichtliche und gut funktionierende Anordnung eines Apparates,

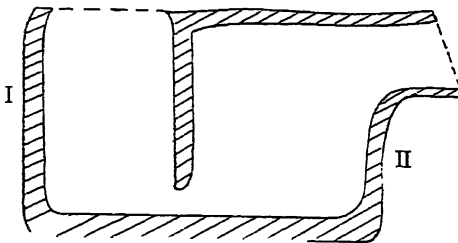


Fig. 138. Glashafen.

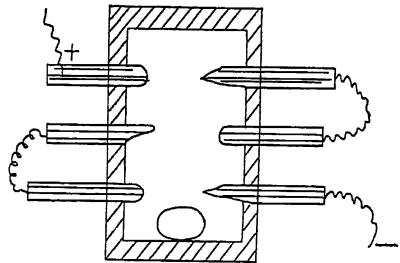


Fig. 139. Schmelzstein.

bestehend aus zwölf Elektrodenhaltern mit den verschiedenen Stromanschlüssen und Abzweigungen zu den Meßinstrumenten auf einem kaum zwei Quadratmeter großen Tische, bietet schon einige Schwierigkeiten. Wird eine solche Apparatur auf einem Gewölbe eines etwa 1200° heißen Ofens aufgestellt, so verziehen sich alle Metallteile derartig, daß alles ganz von neuem aufgestellt und sehr oft nachgeprüft werden muß. Dies wird noch erheblich dadurch erschwert, daß jeder einzelne Teil dieses Mechanismus voneinander und von

der Erde isoliert sein muß, und daß man sehr beschränkt in der Wahl von hitzebeständigen Isoliermaterialien ist. Wohl könnte man das Ganze auf einer wassergekühlten Platte montieren, wodurch jedoch die Gefahr des Einfrierens des Glases auf dem Wege zwischen den Schmelzsteinen und den Häfen gesteigert würde.

Diese Notwendigkeit, die Schmelzkanäle so nahe wie nur möglich an die Häfen zu bringen, und die Umständlichkeit, eine so komplizierte und unmittelbar über dem Ofengewölbe befindliche Einrichtung auf die Dauer funktionsfähig zu erhalten, ließ nach einige Monate langem Betriebe die Aufrechterhaltung einer gemischten Heizung (Lichtbogen und Kohlenfeuerung) als aussichtslos erscheinen. Wollte man daher das Bestreben, Glas elektrisch zu erschmelzen, nicht aufgeben, so mußte ein Weg gefunden werden, die elektrisch erschmolzene Glasmasse auch auf elektrischem Wege längere Zeit flüssig und verarbeitungsfähig zu erhalten. In dieser Richtung wurde ein größerer Versuch mit einem schachtförmigen Ofen von fast quadratischem Querschnitte angestellt, in dem die beiden Seitenwände aus stromführenden Kohlenblöcken bestanden. Der Ofen wurde mit geschmolzener Glasmasse, die nun als Heizwiderstand in den Stromkreis eingeschaltet wurde, gefüllt und in dem Maße, als das geschmolzene Glas abfloß, mit frischem Glassatz beschickt. Das Schmelzen ging sehr rasch vor sich, das erhaltene Glas war zwar gut durchschmolzen, aber sehr dunkel (in dünnen Schichten rotbraun, und in Stücken schwarz) gefärbt, so daß seine Verwendung nur für Belegplatten, Isolatoren und ähnliche Zwecke in Frage kommen könnte.

Von weiteren Versuchen, Glas im Lichtbogen oder durch direktes Einschalten des Glassatzes selbst als Heizwiderstand zu schmelzen, wurde Abstand genommen und vielmehr versucht, in der hergebrachten Art und Weise in Häfen (Tiegeln), die jedoch von außen elektrisch erhitzt wurden, Glas zu erzeugen. Als Heizwiderstand wurde Kohle gewählt, da die Anwendung von Heizwiderständen aus Metallen zur dauernden Hervorbringung hoher Temperaturen undurchführbar erschien. Ein solcher Ofen ist durch die Fig. 140 veranschaulicht. Der aus Hafenton hergestellte runde Tiegel (1) von etwa 16 cm Durchmesser war vom Schamotttemantel (2) umgeben, In dem Zwischenraume zwischen den beiden waren um den Tiegel herum vier bis sechs dünne Kohlenstäbe (4) von etwa 7 mm Durchmesser symmetrisch angeordnet und der übrige Hohlraum mit Sand 8 ausgefüllt. Nur an den mit 7 bezeichneten Stellen befand sich etwas zerkleinerte Elektrodenkohle, um die leitende Berührungs-

fläche zwischen der stromführenden Platte 5 bzw. dem Kranze (6) (beide aus Kohle) und den Kohlenstäben 4 zu vergrößern und so den Stromdurchgang zu sichern. Bei Anwendung von vier Stäben von je 30 cm Länge und 36 qmm Querschnitt gingen beim Einschalten bei 40 Volt 50 Amp. durch, die Stromstärke stieg dabei fortwährend und betrug nach einer Stunde bereits 145 Amp. Die Erhitzung ging glatt vor sich, und in etwa drei Stunden nach dem Einschalten des Stromes war der Glassatz blank geschmolzen. Die Temperatur an den Kohlenstäben selbst muß eine sehr hohe gewesen sein, denn aus dem Sande haben sich um die Stäbe Hüllen gebildet; es stellte sich später heraus, daß die Kohlenstäbe in den, wahrschein-

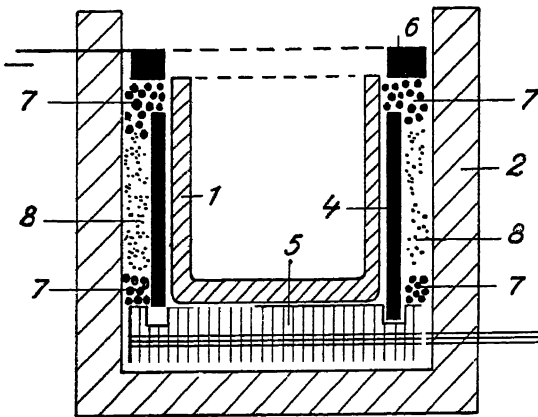


Fig. 140 Durch Kohlenstäbe geheizter Schmelztiegel (Bronn).

lich aus geschmolzener Kieselsäure und Silizium bestehenden Hüllen lose stehen blieben, ohne an den Hüllenwänden anzubacken. Nachteilig an dieser Anordnung war der geringere Widerstand, der nur die Anwendung geringer Stromspannungen zuließ, sowie der Übelstand, daß, so-

bald ein Stab während der Erhitzung brach, an der betreffenden Stelle ein Lichtbogen entstand, der sehr bald die Tiegelwandung durchbohrte.

Die Beobachtung, daß der Strom bei Anwendung der Kohlenbrocken 7 ohne dauernde Lichtbogenserscheinungen aus dem stromzuführenden Kranze in die Stäbe eintrat, trotz der ganz losen Berührung zwischen dem Kranze und jedem einzelnen der Stäbe, veranlaßte den Verfasser zu dem Versuche, die Kohlenstäbe und die Sandfüllung wegzulassen und den etwa 30 mm breiten ringförmigen Zwischenraum zwischen Tiegel und Mantel mit Kohlenkörnern zu füllen. Der so zusammengesetzte Ofen zeigte anfangs (bei 33 Volt) 0,5 Ohm inneren Widerstand, der nach zwei Stunden auf 0,27 Ohm (50 Volt bis 185 Amp.) sank, um dann ganz langsam wieder zu steigen. Dieser hohe spezifische Widerstand der Heizmasse, von der 1 Liter doch immerhin 936 g wog und die im Vergleiche mit der kompakten Kohle (spezifisches Gewicht 1,6) eine vielleicht tausendmal geringere

Leitfähigkeit hatte, deutete darauf hin, daß der erzielte hohe Heizeffekt nicht durch die Substanz des leitenden Materials, sondern durch die zahllosen Unterbrechungen des Leiters, d. h. nicht durch den Leitungs-,

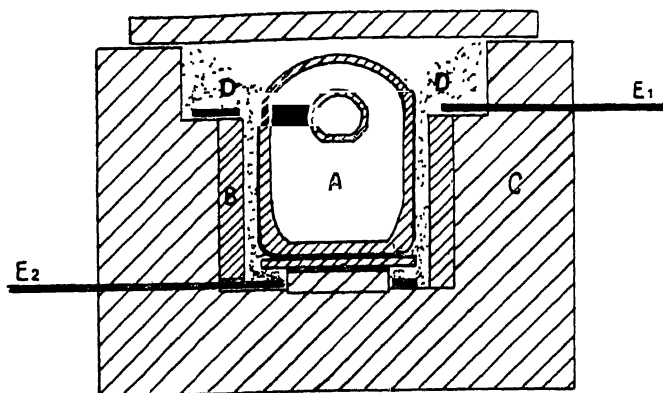


Fig. 141. Ein mit Kohlengrieß geheizter Glashafen (Bronn).

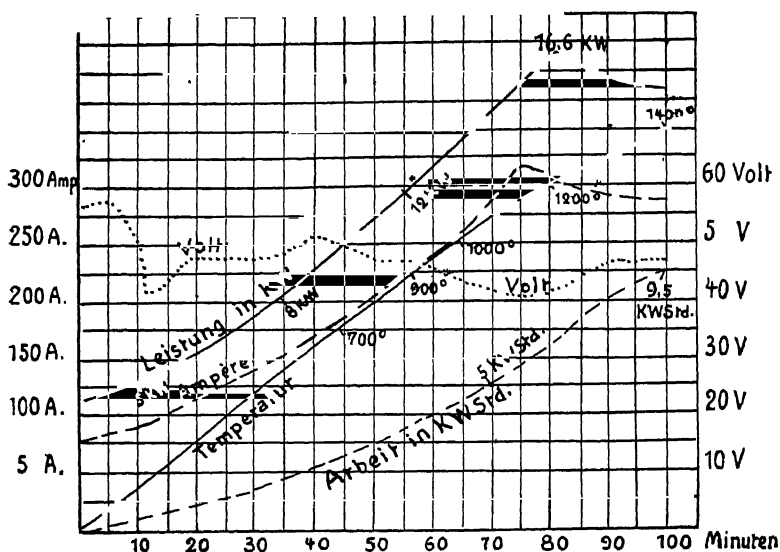


Fig. 142. Stromverbrauch beim Erhitzen eines 2 Liter fassenden Tiegels im Kohlengrießofen.

sondern durch den Übergangswiderstand bedingt war. Dies führte zur Notwendigkeit, die Schichtung der aus Kohlengrieß bestehenden Heizmasse¹⁾ in den dazu bestimmten Zwischenräumen möglichst

1) Als Schutzmarke für diese Heizmasse wurde die Bezeichnung „Kryptol“ gewählt und die Arbeitsweise dann öfters kurzweg als Kryptol- bzw. Kohlengrießverfahren bezeichnet. Vergl. die bereits erwähnte Ab-

gleichmäßig vorzunehmen und vor allem das Heizmaterial keinem anderen Drucke als dem seines Eigengewichtes auszusetzen.

Die endgültige Ausführungsart, die nach vielen Versuchen, bei denen Herr Ingenieur C. Schroers dem Verfasser sich sehr behilf-

lich erwies, gewählt worden ist, ist durch die Fig. 141 veranschaulicht. *A* ist der Tiegel bzw. Hafen der mit einem Fassungsraume von 2 bis etwa 200 Litern zur Anwendung kam. *B* ist der Mantel, der je nach der Tiegelgröße aus einem ein- oder mehrteiligen Tonzylinder bestand oder gar gemauert war, *E* und *E*₁ sind die Stromzuführungen aus starkem Eisenblech, manchmal auch mit Kohlenplatten versehen, und *D* ist die aus Kohlengrieß bestehende

Heizwiderstandsmasse. Die Arbeitsweise bleibt hier die gleiche wie bei gewöhnlichem Hafenofenbetriebe nur mit

dem Unterschiede, daß der Hafen nicht durch Feuergase umspült wird, sondern durch die Heizmasse umgeben ist.

Der Verlauf einer Schmelzoperation in bezug auf Stromverbrauch und Temperatursteigerung ist ohne weiteres an den

handlung des Verfassers in der Elektrotechn. Zeitschr. vom 1. März 1906: „Zur Anwendung lose geschichteter kleinstückiger Leiter für elektrische Heizwiderstände“, sowie die Ausführungen über Kohlengrießöfen auf S. 79 u. ff.

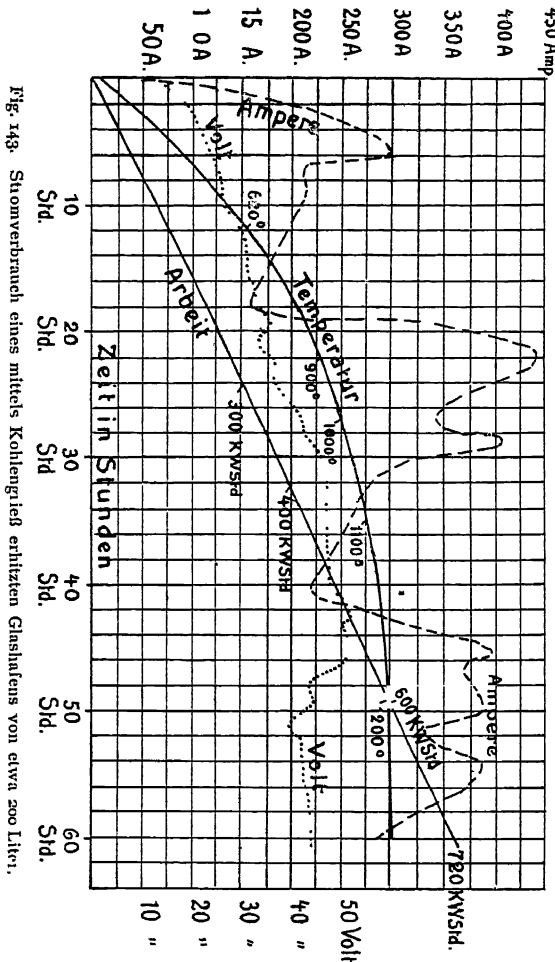


Fig. 143. Stromverbrauch eines mittels Kohlengrieß erhitzten Glashafens von etwa 200 Liter.

Kurven¹⁾ der Fig. 142 (im kleinen, etwa 2 Liter fassenden Tiegel) und der Fig. 143 (60stündiges Erhitzen eines Hafens von etwa 200 Liter) abzulesen. Zur Stromregulierung bediente sich der Verfasser eines oder mehrerer parallel geschalteter Vorschaltwiderstände nach Fig. 144 (D. R. P. 151278): jeder derselben bestand aus einem Schacht von etwa 12×12 cm Querschnitt und 120 bis 130 cm Höhe, der aus hochfeuerfesten Schamottesteinen *a* zusammengebaut war. Am Boden des Schachtes war eine stromführende Kohlen- oder Graphitplatte *b* angebracht, und dicht darüber befand sich eine verschließbare Öffnung *c* von etwa 6×6 cm. In den mit Kohlengrieß *w* beschickten Schacht ragte ein auf einem Seile und Führungsrollen angehangter Kohlen- oder Graphitblock *d* von $10 \times 10 \times 100$ cm hinein. Sollte der so vorgeschaltete Widerstand verringert werden, so brauchte nur etwas Widerstandsmasse durch die Öffnung *c* herausgezogen zu werden. Ist das Gegengewicht *e* nicht zu stark gewählt, so folgt die Elektrode *d* der sinkenden Oberfläche der Widerstandsmasse von selbst nach. Durch häufig vorzunehmendes Ausfugen des Mauerwerkes *a* ist dafür zu sorgen, daß es möglichst dicht bleibt, damit kein Luftzug eintritt. Der Widerstand (Ohmwert) dieser Vorrichtung ist nicht konstant, dafür verträgt dieser Apparat starke Überlastungen selbst von längerer Dauer, und es ist schon vorgekommen, daß die Hitze im Schachte so hoch stieg, daß die Tonerde der Schamottesteine zu metallischem Aluminium reduziert wurde, wobei das Metall sich auf dem Boden *b* des Schachtes vorfand.

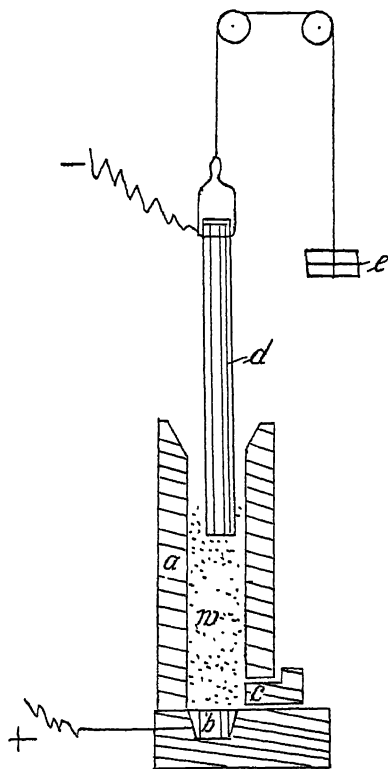


Fig 144 Regulierbarer Widerstand mit Kohlengrießfüllung (Bronn)

1) Diese Beobachtungen wurden angestellt in Gemeinschaft mit Herrn Oberingenieur Dr. Michalke (Siemens-Schuckertwerke).

Das Anwärmen und Fertigschmelzen¹⁾ von gewöhnlichem Glas-
satze in einem etwa 10 Liter fassenden Hafen beanspruchte etwa
zehn Stunden. Unmittelbar vor dem Ausschalten betrug der Strom
275 Amp. bei 81 Volt.

Das Erhitzen von 2 bis 3 Liter fassenden Tiegeln bot keinerlei
Schwierigkeiten, und es ließen sich viele Schmelzen, sei es direkt
nacheinander oder auch nach jedesmaligem Abkühlen, durchführen.
Sieht man in der Mitte des Tiegelbodens ein kleines Loch vor
(Heinecke-Tiegel), so eignet sich der Ofen auch zum Schmelzen
von Glasuren und Fritten (vergl. Fig. 38 auf S. 94).

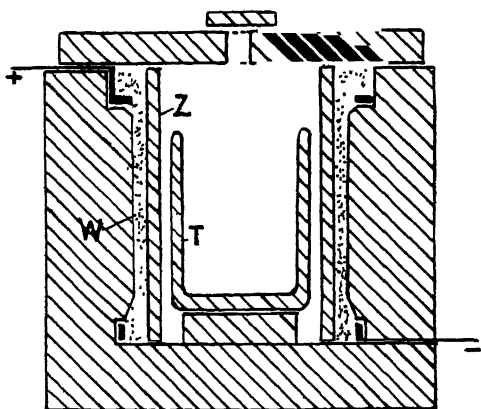


Fig. 145. Kohlengrießofen mit einer
Zwischenwand zwischen der Heizmasse
und dem Tiegel (Bronn).

Beim Erhitzen von großen
Tiegeln stellte sich der schwere
Übelstand heraus, daß die-
selben zum Teile schon vor
dem Einlegen des Glassatzes,
und wenn nicht, so beim
Fertigschmelzen Sprünge und
Risse erhielten. Ein Unter-
schied im Verhalten von ge-
brannten und ungebrannten
Häfen in bezug auf Haltbar-
keit konnte nicht festgestell-
t werden. Auch muß dahin-
gestellt bleiben, ob dies mehr
eine Zufallserscheinung war,

die aus den ungeeigneten Tiegelqualitäten herrührte, oder aber
insofern mit der Erhitzungsart eng verknüpft ist, als daß sich elektro-
lytische Erscheinungen einstellen. Für das letztere würde folgender
Versuch sprechen: In einem 2 Liter fassenden Tiegel (Wandstärke 8 bis
10 mm) wurde Aluminium geschmolzen und auf etwa 900° erhitzt.
Wurde nun das Metallbad durch einen eingetauchten Eisendraht mit
einer der Stromzuführungen verbunden, so zeigten die Meßinstrumente
einen Stromdurchgang von dem Metallbade durch die Tiegel-
wandung zu der Heizmasse an. Nach dem darauffolgenden Ent-
leeren und Abkühlen des Tiegels konnten durchgehende Risse darin
nicht aufgefunden werden, und im Tiegel konnte weiter Metall ge-
schmolzen werden. Beim Arbeiten mit leicht schmelzbaren Glassätzen
dürfte sich dieser Übelstand am sichersten durch die Anordnung

1) Unter Beteiligung seitens des Glashüttendirektors Kleiner (Warm-
brunn & Quilitz).

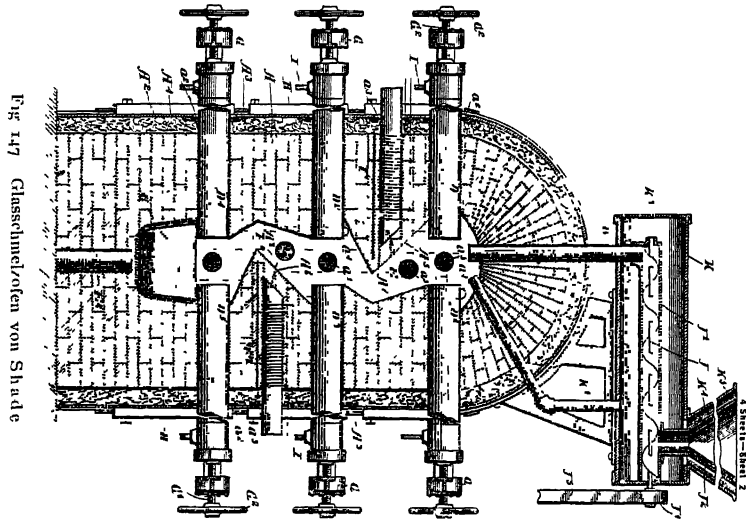
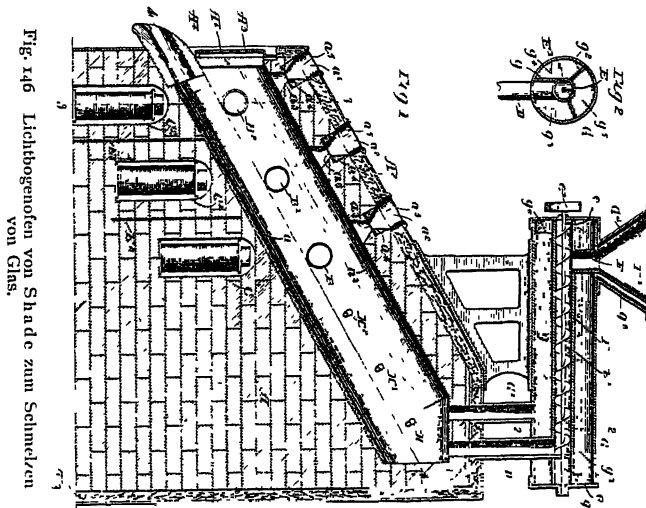
nach der Fig. 145 beseitigen, indem zwischen dem Schmelztiegel *T* und der Heizmasse *W* noch ein Schamottezylinder *Z* eingesetzt wird.

Ferner muß beim Entwerfen solcher Öfen berücksichtigt werden, daß die Heizwiderstandsmasse, dauernd hohen Temperaturen ausgesetzt, nach und nach immer größeren Widerstand dem Stromdurchgange bietet (vergl. Fig. 142 u. 143), also weniger Strom durchläßt. Dies kommt nach Ansicht des Verfassers daher, daß die untereinander sich berührenden und so den Stromdurchgang vermittelnden Spitzen der Kohlenkörner mit der Zeit abbrennen; hierdurch wird die Berührung der Kohlenkörner immer loser, um so mehr, als der Eigendruck der Widerstandsmasse nicht genügt, um die Körner aneinander anzupressen. Die Bauart des Ofens muss daher die Widerstandsmasse zugänglich lassen, so daß man stets imstande ist, sobald der Widerstand des Ofens zu wachsen beginnt, mit einem dünnen Eisenstabe die Widerstandsmasse in ihrer ganzen Höhe gut durchzustechen. Hierbei verändert sich die gegenseitige Lage der Körner, ihre Berührungspunkte werden erneuert und die Leitfähigkeit der Masse wird wieder besser. Bei solchem Sachverhalte ist auch verständlich, warum alle Versuche, statt möglichst reiner Kohle Widerstandsmassen aus kohlenstoffhaltigen Gemischen zu benutzen, völlig fehlschlagen müssen. Wendet man z. B., wie es vielfach vorgeschlagen wurde, natürlichen gekörnten Graphit, der 20 bis 50 0/0 Asche hinterläßt, oder gar Körner aus Gemischen von Graphit mit Ton bei Temperaturen über 600° an, so verbrennt nach und nach der an der Oberfläche der Körner befindliche Graphit, und die Körner bedecken sich mit einer nichtleitenden Netzhaut. Dann hört der Stromdurchgang entweder ganz auf, oder aber, wenn die Aschenbestandteile leicht schmelzbar sind, bäckt die ganze lose gewesene Widerstandsmasse zu einem kontinuierlichen Leiter zusammen und führt zu kurzschlußähnlichen Erscheinungen.

Wie die weitere Aufzählung von Patenten zeigt, mangelte es auch an andersartigen Vorschlägen nicht, Glas elektrisch zu erschmelzen. Nur wenigen unter ihnen dürften Versuchs- und Beobachtungsergebnisse zugrunde liegen. Was von den übrigen Patenten zu halten ist, wird der Leser auf Grund der oben geschilderten Verhältnisse nicht im unklaren sein. Es dürfte daher entbehrlich sein, über die Undurchführbarkeit der einzelnen Vorschläge sich aufzuhalten, und sie sollen hier lediglich als Patentmaterial behandelt werden.

Das Charakteristische an dem Ofen von A. Shade (Amerik. Pat. 722411, vergl. Fig. 146) ist die Anordnung der Elektromagnete

C , C_1 , C_2 unterhalb der Lichtbogen B , B_1 , B_2 . Die Abgase des Ofens entweichen durch G' und wärmen dabei den Glassatz in der Förderschnecke vor. In seinem Amerik. Pat. 713923 beschreibt



Shade einen Ofen nach Fig. 147. Das aus B herunterfallende Gemenge passiert die gebrochene Bahn zwischen den Elektrodenpaaren $D-D_1$, D_2-D_3 , D_4-D_5 und gelangt nach dem Sammelgefäß C . Für jedes Elektrodenpaar ist auch ein Elektromagnet E , E_1 , E_2 vorgesehen. Damit die Wirkung derselben nur auf den zugehörigen Lichtbogen zur Geltung kommt und die anderen Lichtbogen unbeeinflusst bleiben, sind die Metallplatten F , F_1 eingebaut.

Im Wannenofen von G. H. Benjamin (Amerik. Pat. 762270, vergl. Fig. 148 u. 149) gelangt der Glassatz zuerst in dem Vorwärme-
raum 10 in Berührung mit den Abgasen. Zur Erhöhung des Heiz-
effektes kann noch frisches Heizgas durch die Brenner 19 eingeführt
werden. Das eigentliche Schmelzen soll in den vier von 11 sich
abzweigenden und mit mehreren Elektrodenpaaren (21) versehenen
Kanälen 20 stattfinden. Nach Passieren durch die Lichtbogen fließt
die Glasmasse in die etwa 1 m tiefe Raffinierwanne 12, die wiederum

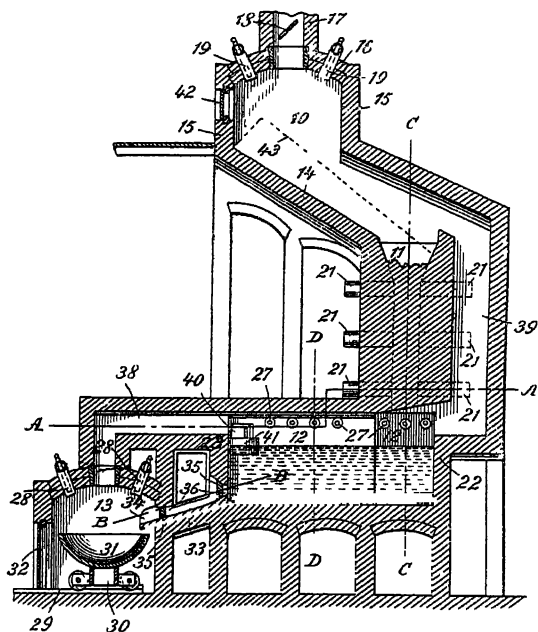


Fig 148
Glasschmelzofen von Benjamin.

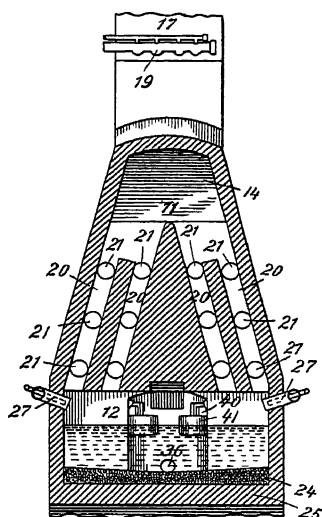


Fig 149 Anordnung der Licht-
bogen im Ofen von Benjamin.

durch Generator- oder Naturgas geheizt wird. Aus der Wanne
wird das Glas in eine Art Gießschale 31 verteilt. Der Raum 13,
wo das Füllen dieser Schalen stattfindet, soll ebenfalls durch die
Gasbrenner 28 heiß gehalten werden. Im Amerik. Pat. 798258
empfiehlt Benjamin, in den Ofen statt des fertigen Glassatzes die
verschiedenen Bestandteile, wie Sand, Kalk, Soda, einzeln einzuführen.
Der für diese Arbeitsweise von ihm entworfene Ofen (Fig. 150) hat
mehrere Aufgabetrichter. Der Sand, als der am schwersten schmelz-
bare Bestandteil, gelangt durch den Trichter 13 in den Ofen, wird
dort vorgewärmt und, in den Lichtbogen 17 vorgeschmolzen, ver-
mischt sich mit dem aus Trichter 18a herunterfallenden Kalk; in dem
Lichtbogenkanale 16a wird die Sandkalkmasse weiter geschmolzen,

trifft dann unter dem Trichter 18*b* die zugehörigen Natronsalze und fließt nach dem Fertigschmelzen in 16*b* in die Wanne 5 ab.

In seinem D. R. P. 167023¹⁾ schlägt Fr. Becker vor, in einen Hafen mit flüssiger Glasschmelze zwei Elektroden einzustecken und dann frischen Glassatz zuzuführen. Er empfiehlt hierfür den Ofen nach Fig. 151 u. 152 und den folgenden Arbeitsgang: Vor Beginn der Schmelzung wird der Hafen *d* mit Glasgemenge gefüllt und

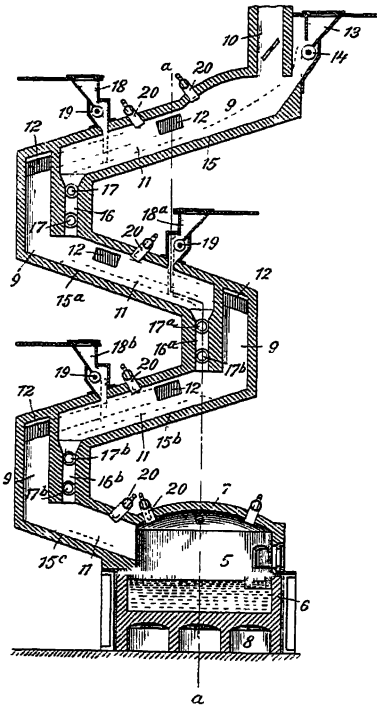


Fig. 150. Ofen von Benjamin für getrennte Zufuhr der einzelnen Bestandteile des Glassatzes

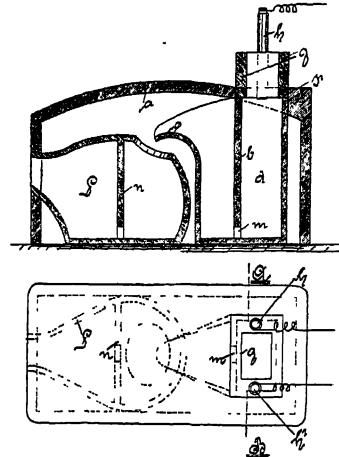


Fig. 151. Glasofen von Becker (Die Glasmasse als Heizwiderstand)

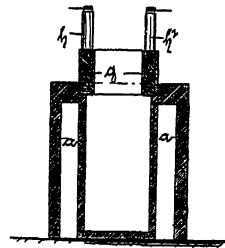


Fig. 152. Schmelzgefäß von Becker.

dieses dann mittels der im Ofen *a* befindlichen Kohlen- oder Gasfeuerung zum Schmelzen gebracht. Sobald das Schmelzgut elektrisch leitend geworden ist, werden die beiden Elektroden *hh'* in die Führungsöffnungen des Behälters *g* eingeführt und mit ihren unteren Enden mit der Schmelze in Berührung gebracht. Hierauf wird der Strom eingeschaltet und frisches Gemenge dem Behälter *g* zugeführt. Der Schmelzvorgang nimmt nunmehr seinen ununterbrochenen Fortgang, der frisch hinzukommende Glassatz drückt die Schmelze durch

¹⁾ Das Patent lautet auf H. Hauke.

die Öffnung *m* in die andere Abteilung des Hafens. Hier läutert sich das Glas und fließt nach dem Sammel- und Arbeitsofen *F*, der ebenfalls mit einer Zwischenwand versehen sein kann. Woraus die Elektroden *h h'* gemacht werden sollen, erwähnt die Patentschrift nicht.

Nach einem Vorschlage von W. S. Franklin im Amerik. Pat. 775031 wird die Kammer *B* des Ofens nach Fig. 153 mit flüssiger Glasmasse, die elektrisch leitend ist, gefüllt und die Kohlenelektrode *F* in die Schmelze *J* eingetaucht. Auf diese Weise wird die Glasmasse zwischen dem stromführenden, aus Kohlenplatten bestehenden Boden *B* und dem Blocke *F* in den Stromkreis eingeschaltet. *F* wird dann etwas über den Glasspiegel *J* gehoben, so daß ein mächtiger Lichtbogen entsteht, der das Bad flüssig erhält und auch frischen Glassatz schmilzt. Die Läuterung der geschmolzenen Glasmasse ist hier infolge der fortdauernden Zufuhr von neuem Glassatz unmöglich gemacht worden.

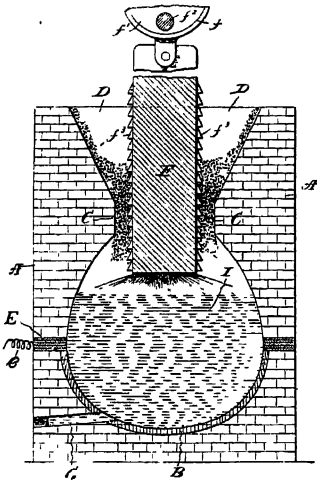


Fig 153 Schmelzofen von Franklin.

Im Jahre 1905 veröffentlichte ein französischer Glashüttendirektor M. Sauvageon¹⁾ einen Entwurf für einen kontinuierlichen Glaswannenofen mit nur elektrischer Heizung (Franz. Pat. 355824). Nach Sauvageons Berechnungen wird selbst in den vollkommensten der existierenden industriellen Gasöfen nicht mehr als 16 0/0 der Heizkraft der Kohle ausgenutzt. Die Anwendung der Elektrizität als Heizquelle ist dagegen mit viel weniger Verlusten verknüpft, und er schätzt nach Berücksichtigung allerhand Verluste durch Stromumformung, Isolationsfehler, Ausstrahlung usw. den Nutzeffekt von großen elektrischen Öfen auf 65 0/0. Bei Gasfeuerung wird etwa 1,3 kg Kohle für weißes Glas (Wannenofen) gerechnet und hiervon nur 1365 Kal. ausgenutzt; dies entspricht 1,58 Kilowattstunden oder unter Berücksichtigung der Stromverluste 2,43 Kilowatt. Bei einem Kohlenpreise von 15 Mk. die Tonne, kostet demnach die Erschmelzung von 1 kg Glas $1,5 \times 1,3 = 1,95$ Pfg. Solange der Strompreis unter 0,8 Pfg. für die Kilowattstunde beträgt, was ja bei vereinzelt Wasserkräften nicht ausgeschlossen ist, stellt sich demnach die elektrische Heizung billiger.

1) „Four électrique à marche continue pour le fabrication du verre“ par M. Sauvageon, Paris Vve. Dunod.

Der von Sauvageon in vielen Einzelheiten ausgearbeitete Ofenentwurf ist durch die Fig. 154 veranschaulicht. Alle Teile des Ofens haben die gemeinschaftliche Sohle S , die durch Luftkanäle g gekühlt wird. Der Glassatz wird durch I eingefüllt, und die Glasmasse wird aus der Abteilung V ausgearbeitet. In den einzelnen Abteilungen wird die Glasmasse den Bedürfnissen der jeweiligen Fabrikationsphase entsprechend verschieden hohen Temperaturen ausgesetzt, was durch die Querschnittsverschiedenheiten des Bades bewirkt wird. Die Stromzuführung geschieht durch die

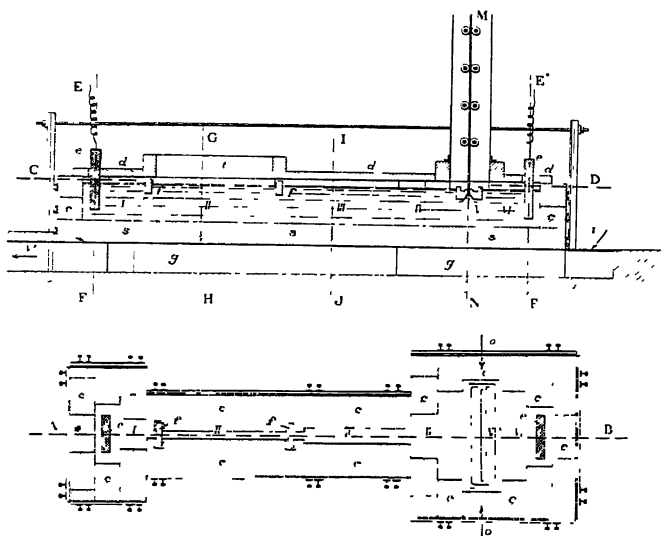


Fig 154. Ofen von Sauvageon. (Die Glasmasse als Heizwiderstand)

Elektrodenblöcke E und E_1 , die aus Kohle oder hohlen wassergekühlten Eisenkörpern sein können. Der hier abgebildete Ofen ist für die Herstellung von Glas- und Spiegelscheiben nach dem Verfahren von Fourcault¹⁾ vorgesehen. Als Grundlage für die Berechnung der elektrischen Verhältnisse im Ofen nimmt Sauvageon an, daß der elektrische Widerstand der flüssigen Glasmasse etwa 0,1 Ohm pro Kubikzentimeter beträgt. Dieser Wert kann möglicherweise zutreffen. Aus den Versuchen des Verf. nach der bereits beschriebenen Anordnung (vergl. Fig. 131 auf S. 234), bei welcher der Abstand zwischen den Elektrodenspitzen etwa 6 cm, die Höhe der Glasschicht etwa 2,5 cm, der Elektrodenquerschnitt etwa 5 qcm (der Querschnitt der Lichtbrücke entsprach ungefähr dem der Elek-

¹⁾ Fourcaults Verfahren zum Ziehen von Fensterglas aus der Glaswanne, vergl. Sprechsaal 1905, Nr. 49 und 1907, Nr. 39.

troden) und der Strom 100 Amp. bei 40 Volt betrug, ergibt sich folgende Berechnung (r = Gesamtwiderstand; ϱ = spez. Widerstand; l = Länge; q = Querschnitt)

$$r = \varrho \frac{l}{q}; \quad \varrho = \frac{q}{l} r; \quad r = \frac{40 \text{ (Volt)}}{100 \text{ (Amp.)}} = 0,4; \quad \varrho = 0,4 \frac{q}{l}$$

$$\varrho = 0,4 \frac{5}{6} = 0,33,$$

d. h. 0,33 Ohm pro Kubikzentimeter.

Bei dieser Abschätzung sind zwei Fehlerquellen unberücksichtigt gelassen: a) der Querschnitt der leitenden Glasmasse q ist demjenigen der „leuchtenden Brücke“ gleichgesetzt. In der Wirklichkeit leiten aber auch die benachbarten Glasmassen, wenn auch nicht in solch erheblichem Grade, mit. Der Querschnitt q ist daher in der Wirklichkeit größer, so daß auch der Widerstandswert ϱ größer wird. b) Der ohne Zweifel starke Spannungsabfall bei der Überwindung des Übergangswiderstandes zwischen den Elektroden und der Glasmasse, ist hierbei gänzlich unberücksichtigt geblieben. Wurde dieser Übergangswiderstand ermittelt werden können, so würde man sich dem von Sauvageon angenommenen Werte bedeutend nähern.

Die Verwirklichung des Entwurfes von Sauvageon dürfte auf sehr erhebliche, wenn nicht gar unüberwindliche Schwierigkeiten stoßen, die in gar keinem Verhältnis zu den von Sauvageon errechneten Ersparnissen stehen.

Einen eigenartigen elektrischen Ofen erfanden K. Birkeland und S. Eyde, indem sie die Eigenschaft des Magneten benutzten, einen Lichtbogen wie jeden anderen beweglich angeordneten Leiter seitwärts zu treiben. Ihr Ofen besteht aus einem dosenförmig gestalteten, ausgemauerten Hohlraum, in den von den schmalen Seiten her wassergekühlte Kupferelektroden hineinragen. Senkrecht zur Ebene des Ofens wirken die Kraftlinien eines außerhalb angebrachten Elektromagneten. Ein zwischen den Elektroden entzündeter Wechselstromlichtbogen wird infolge dieser Anordnung abwechselnd nach oben und nach unten ausgeblasen und dadurch für das Auge der

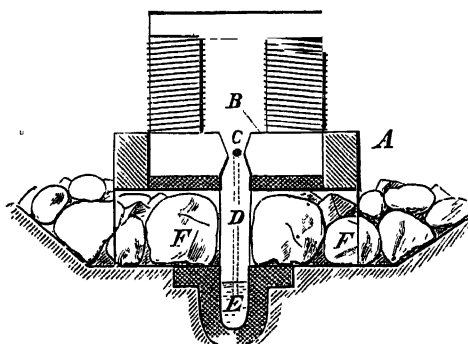


Fig 155. Schmelzofen von Birkeland und Eyde

Eindruck einer mächtigen Lichtbogenscheibe erzeugt. Ursprünglich war diese Heizart ausschließlich zur Verbrennung des in der Luft enthaltenen Stickstoffs und zur Erzeugung des künstlichen Salpeters bestimmt, wo sie sich auch glänzend bewährte. In ihrem Norw. Pat. 14585¹⁾ schlagen sie vor, ihren scheibenförmigen elektrischen Flambogen auch zum Schmelzen von Gesteinen, Glas, Quarz und dergl. zu benutzen. Oberhalb des Schmelzraumes (Fig. 155) sind die Elektroden angeordnet, von welchen ein Flambogen ausgeht, der mittels eines Magnetfeldes scheibenförmig ausgebreitet ist, indem er den Zuführungskanal für das zu schmelzende Gestein F durchschneidet, derart, daß dieses eine Schmelzfläche darbietet, die parallel mit der Flammenscheibe D ist. Es muß dabei ein solcher elektrischer Strom²⁾ und ein solches Magnetfeld verwendet werden, daß die Flamme ausschließlich auf der unteren Seite der Elektroden gebildet wird.

Um die besprochenen Übelstände der gewöhnlichen Lichtbogenöfen zu umgehen, empfehlen K. Birkeland und S. Eyde (D. R. P. 192343), „den Lichtbogen auf solche Weise anzuordnen, daß eine große Menge des Glassatzes bei der Anwendung eines einzigen Elektrodenpaares in ähnlicher Weise wirksam beeinflußt und erhitzt werden kann, wie eine kleine Menge bei den bisher bekannten Flambogenöfen“.

„Zu diesem Zweck wird ein elektrischer Lichtbogen derjenigen besonderen Art in Anwendung gebracht, welche erzielt wird, wenn ein Strom von hoher Spannung zwischen in einem magnetischen Feld nahe aneinander liegenden Elektrodenspitzen geleitet wird. Man kann auf diese Weise bekanntlich einen ständigen scheibenförmigen Lichtbogen mit einem Durchmesser von 1,5 m oder auch mehr zwischen einem einzigen Elektrodenpaar erzielen und Tage und Wochen brennend erhalten. Ein solcher Lichtbogen ist für Schmelzzwecke besonders gut geeignet, und zwar nicht nur wegen seiner großen Ausdehnung und der Tatsache, daß seine Energie zum großen Teil im Umfang konzentriert ist, sondern auch aus dem Grunde, daß die Elektroden auf solche Weise zu dem Herde angeordnet werden können, daß sie sich außerhalb der eigentlichen Schmelzzone befinden und demzufolge nicht bei der Behandlung des Gutes oder der Beschickung des Ofens zerstört werden.“

1) Chemiker-Zeitung (Cöthen) 1906, S. 21.

2) In den Öfen zur Stickstoffverbrennung gelangt hochgespannter Wechselstrom zur direkten Verwendung.

„Hiermit im Zusammenhang steht eine eigenartige Anordnung des magnetischen Feldes, durch welche die Gestalt der Scheibenflamme derart abgeändert werden kann, daß sie eine mehr oder

weniger sphärische, gewölbte Gestalt annimmt, wie sie für Öfen der vorliegenden Art vorteilhaft ist. Diese sphärische Gestalt der Flamme wird mittels eines magnetischen Feldes erzielt, in welchem die Kraftlinien mit Rücksicht auf die Flammenscheibe unsymmetrisch verteilt sind. Ein solches Feld kann dadurch erhalten werden, daß die induzierenden Teile auf der einen Seite der Elektroden eine größere Kapazität haben, als die auf der anderen Seite, oder in anderer Weise gruppiert werden, wie nachstehend erörtert werden soll (vergl. Fig. 156 bis 158). Wenn sowohl der zwischen den Elektroden *D* als der durch die Magnetwindungen *E* und *F* fließende Strom zweckmäßig geregelt wird, kann der Flamme die durch

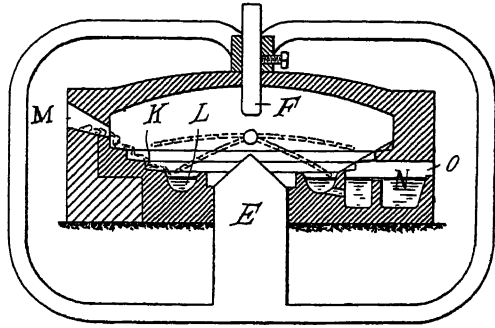


Fig. 156

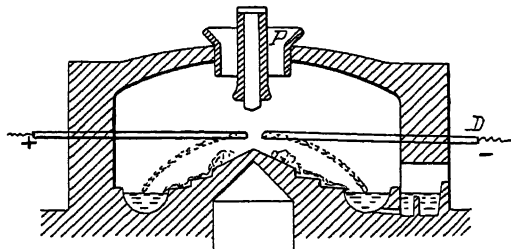


Fig. 157.

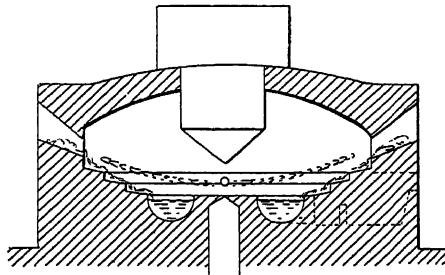


Fig. 158

Fig. 156 bis 158. Glasschmelzöfen nach Birkeland und Eyde.

punktierte Linien angedeutete Gestalt erteilt werden, so daß die Flamme nahezu über dem ganzen ringförmigen Herd und in unmittelbarer Nähe der Glasmasse spielt. Die ringförmige Wanne kann einen ununterbrochenen Kreis bilden oder aus zwei durch Brücken getrennten Hälften bestehen.“

„Bei der Ausführungsform nach Fig. 156 ist ein terrassenartig aufsteigender kreisförmiger Herd *K* außerhalb der ringförmigen

Wanne *L* angeordnet. Der Glassatz wird durch mehrere Öffnungen *M* auf die obere Stufe der Terrasse eingebracht, worauf er in schmelzflüssigem Zustand von Stufe zu Stufe hinabfließt, bis er den Sumpf *L* erreicht, wobei er der Einwirkung der Flamme ausgesetzt ist. In diesem Falle kann ein pulsierendes magnetisches Feld in Anwendung gebracht werden, wodurch die Flamme zum Vibrieren oder Auf- und Abwärtsschwingen veranlaßt wird, wie durch die punktierten Linien dargestellt ist. Die Flamme oder deren peripherischer Teil wird dadurch dicht an die Glasmasse gebracht, welche in dünnen Schichten an den Terrassenstufen hinabfließt, so daß eine sehr energische Wirkung erzielt wird. *N* ist ein Raum, in welchen die schmelzflüssige Masse abfließt und aus welchem sie durch die Öffnung *O* ausgearbeitet werden kann. Der untere und der obere Magnet sind durch Arme miteinander verbunden, wodurch eine Konzentration der magnetischen Kraftlinien erzielt wird.“

„In der Ausführungsform nach Fig. 157 sind die Elektroden und das magnetische System in ähnlicher Weise angeordnet, wie in der Fig. 156, aber der Herd ist derart eingerichtet, daß die ringförmige Wanne den peripherischen Teil des Ofens bildet, während sich der treppenförmige Teil der Sohle innerhalb des ringförmigen Sumpfes befindet. Das Glasgemenge wird durch einen, den oberen Magneten umschließenden Trichter *P* auf den Herd gebracht. Wie aus der Fig. 157 ersichtlich, wird hier der Herd von der gewölbten Flamme vollständig gedeckt und demzufolge eine energische Heizung erzielt.“

„In Fig. 158 ist eine Anordnung dargestellt, die sich von der durch Fig. 156 dargestellten dadurch unterscheidet, daß der kräftigste Magnet oben angebracht ist, so daß die Flamme ihre konvexe Seite nach abwärts richtet.“

„Es können zweckmäßig in den beschriebenen Öfen die Elektroden unter einem Winkel gegeneinander angeordnet werden, so daß sie nahezu parallel zu den schrägen Sohlenflächen zu liegen kommen.“

Die von Birkeland und Eyde für andere Zwecke so gut durchgebildete Heizung mittels scheibenförmiger Lichtbogen kann auch in ihrer Anwendung zum Schmelzen von Glas vielfache Vorteile bieten. Die hier geschilderten Ausführungsformen (Fig. 156 bis 158) erscheinen jedoch wenig zweckmäßig, da bei ihnen die Verdampfung der leichter flüchtigen Alkalisalze aus dem Gemenge, sowie die infolge der sehr ausgedehnten Berührungsfläche zwischen der schmelzenden Glasmasse und der Ofensohle unvermeidliche starke Abnutzung der

letzteren und die Verunreinigung der Glasmasse durch Tonpartikelchen sehr erheblich ausfallen dürften.

Gabreau, der in Paris eine Fabrik von Beleuchtungskörpern betreibt, in der er bereits fertiges Glas für seine Zwecke umschmilzt, versuchte das Umschmelzen in durch Lichtbogen erhitzten Tiegeln zu bewirken (D. R. P. 153295¹⁾).

Der Tiegel *r* (Fig. 159) wird durch die Lichtbogen zwischen mehreren Elektrodenpaaren *a—b*, *a'—b'* usw. bestrahlt; behufs gleichmäßiger Erhitzung und Vermeidung, daß der Tiegel durch die Bogenflammen durchbohrt wird, ist die Einrichtung getroffen, daß der Tisch *p—f—s* mit dem Tiegel sich langsam auf und

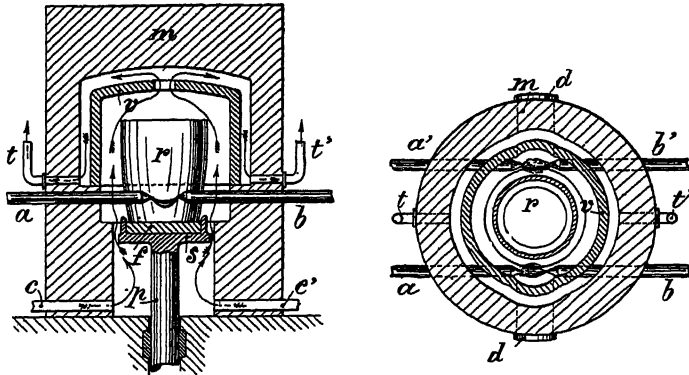


Fig 159. Durch Lichtbogen erhitzte Tiegel nach Gabreau.

nieder bewegt oder auch rotiert. Auch soll man so arbeiten können, daß man die Lichtbogen längs den Tiegelwandungen verschiebt. Ein im Conservatoire des Arts et Métiers in Paris angestellter Schmelzversuch²⁾ ergab, daß man mit 75 Amp. in 16 Minuten 300 g Nickel schmelzen konnte. Bedenkt man jedoch, daß in der Praxis selbst ein kleiner Glashafen mindestens 2 bis 3 cm starke Wandungen haben muß, durch welche nun die Lichtbogenhitze dringen soll, ohne die Wandungen selbst zu gefährden, und daß schon ein wenig von der überschäumenden oder herausfließenden Glasmasse genügt, um den ganzen Ofenmechanismus aufzuhalten, so erscheint dieser Vorschlag für den Glasbetrieb gänzlich ungeeignet, ganz abgesehen von dem sehr geringen thermischen Nutzeffekt solcher Heizung.

Ein anderer Vorschlag, Glas in Tiegeln, die von außen elektrisch beheizt werden, zu schmelzen, der sich eng an die bereits

1) Franz. Pat. 323831.

2) Elektrochemische Technik, Oktober 1903, Stichwort 826.

beschriebene Arbeitsweise des Verfassers anlehnt, rührt von P. Girod (Franz. Pat. 329822) her. Um den Schamottetiegel *1* (Fig. 160) ist freier Raum *2* gelassen, der mit leitender pulver-

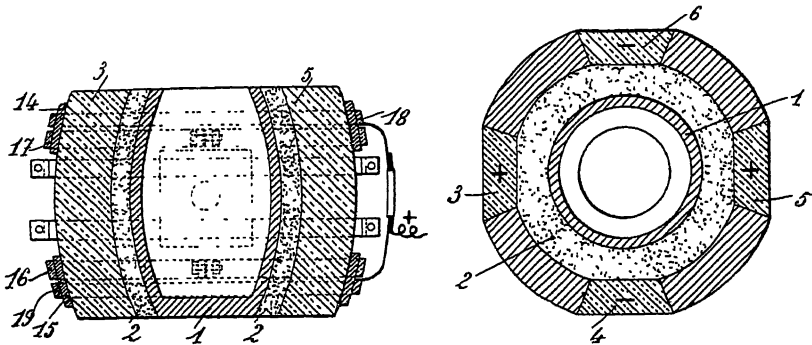


Fig. 160. Tiegelofen von Girod.

förmiger Substanz, wie z. B. Kohlen- oder Graphitpulver, ausgefüllt wird. Der Ofenmantel ist zusammengesetzt aus den vier stromleitenden Platten *3*, *4*, *5*, *6* aus Graphit und ebensoviel

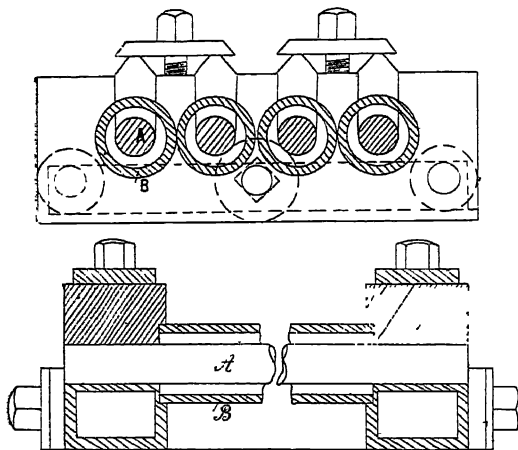


Fig. 161. Schmelzen von Emailleflüssen nach Eddy

dazwischen befindlichen nichtleitenden Platten aus Schamotte, Magnesia und dergl. Damit der Strom von einer Zuleitung zur anderen gelange, muß er durch die pulverförmige Widerstandsmasse passieren, die dabei erhitzt wird. Obzwar in der Patentschrift ausdrücklich von Glaserzeugung die Rede ist, dürften kaum diesbezügliche Versuche gemacht worden sein.

Das Verfahren von Eddy (Amerik. Pat. 677070) bezieht sich speziell auf die Herstellung von Emailleflüssen. Die Schmelzvorrichtung (Fig. 161) besteht aus einer Art von Kohlenstäben *A*, die in Porzellanhülsen *B* eingesteckt sind. Durch die als Heizwiderstand benutzten Kohlenstäbe fließt der Strom durch und, wenn die Porzellanröhren recht heiß und leitend geworden sind, werden die Kohlenstäbe entfernt, so daß die Porzellanröhren *B* allein, ähnlich den Nernststiften, als Heizwiderstände funktionieren.

rw"rm d Gl d rch l ktri it"t w"hr d
d r rb it g.

Die Leitfähigkeit der flüssigen bzw. teigigen Glasmasse kann nach A. Gow (Amerik. Pat. 734125¹⁾) mit Vorteil beim Auswalzen von Glasplatten bzw. Scheiben benutzt werden, indem man die Walzrolle 8 (Fig. 162) und den Walztisch 2 an je eine Elektrode anschließt; der Strom geht dann durch die auf dem Walztisch befindliche, noch weiche Glasmasse und erhitzt dieselbe oder verzögert wenigstens die Abkühlung. Hierdurch soll nach Gow das Auswalzen des Glases viel weniger Kraft beanspruchen und andererseits ist man viel weniger der Gefahr ausgesetzt, daß Luftbläschen in die Glasmasse hineingedrückt werden. Zum Schutz

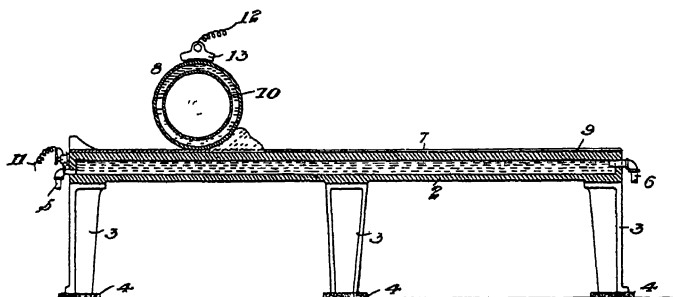


Fig 162. Erwärmung der Glasmasse während des Auswalzens nach Gow

gegen Überhitzung werden der Walztisch und die Walzrolle mit Wasser gekühlt.

Nach Niles und Ford (Amerik. Pat. 433254) läßt sich Spiegelglas bei 700 bis 900⁰ F. (= 370 bis 480⁰ C.) viel besser und mit weniger Kraftverbrauch als in kaltem Zustande polieren. Es wird daher ein Poliertisch mit elektrisch heizbarer Metallplatte A (Fig. 163) empfohlen. Die Strom- und mithin auch die Temperaturregulierung kann durch den Vorschaltwiderstand D erfolgen.

Damit die Glasmasse beim Vergießen nicht zu schnell erstarrt, schlägt J. Kessmeier (Amerik. Pat. 745863) vor, die Glasmasse beim Abstechen aus der Wanne c mittels Lichtbogens g zu überhitzen (Fig. 164), indem dieser in der Abstichrinne c so angeordnet ist, daß das abgestochene Glas beim Abfließen in die Form oder Glaspfanne D unter dem Lichtbogen passieren muß.

Um Glasplatten elektrisch zusammenzulöten, wird nach B. Drake und J. Gorham (Engl. Pat. 25756 vom Jahre 1901) ein

1) D. R. P. 150700.

Glasrohr *C* (Fig. 165) mit dem durchgeführten Draht *D* aus schwer schmelzbarem Metall an den zusammenstoßenden Kanten der beiden Glasplatten angelegt. Das Ganze wird etwas vorgewärmt und dann der elektrische Strom durch den Metalldraht *D* geschickt, bis das Glasrohr mit den Glasplatten zusammenschmilzt. Auf diese Weise soll man auch Akkumulatorengefäße herstellen können.

In manchen Glashütten soll man sich mit Erfolg beim Absprengen und Verschmelzen der Ränder von Glasgefäßen des Lichtbogens bedienen.

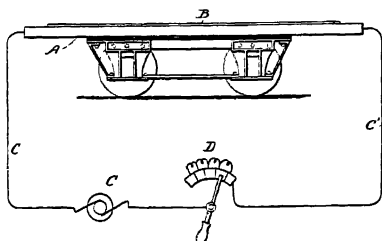


Fig. 163 Heizbarer Poliertisch von Niles und Ford.

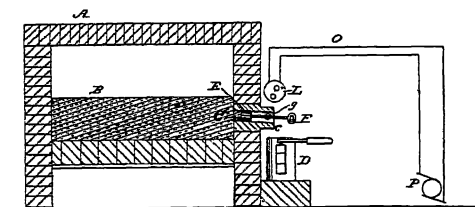


Fig. 164. Ueberhitzung der abgestochenen Glasmasse nach Kessmeier.

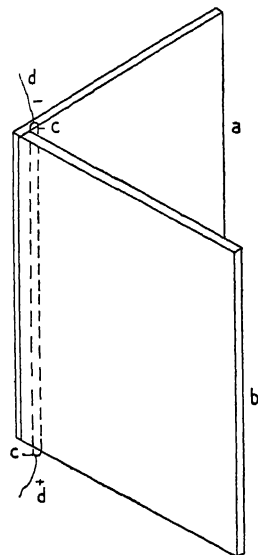


Fig. 165 Zusammenlöten von Glasplatten nach Drake und Gorham.

Eine elektrische Heizdrahtvorrichtung zum Absprengen von „Glaswalzen“ (bei der Fabrikation von Fensterglas) von H. Hitner ist durch die Fig. 166 veranschaulicht („Sprechsaal“ 1908, S. 42).

Ein Griffbrett *a* aus nichtleitender Masse, z. B. Fiber, trägt zwei Kontakte *b*¹ *b*², an welche die Enden der elektrischen Leitung *c* angeschlossen sind. Von den Knöpfen sind umwickelte Drahtstrecken in Nuten weitergeführt, welche in den Rändern des Griffbrettes vertieft sind, und zwar vom Knopf *b*¹ zum Polstück *d*¹, von *b*² zum Polstück *d*². In diese letzte Strecke ist ein Schalter *e* eingefügt. An die Polstücke ist der Sprengdraht *f* angeschlossen. Er ist am Stück *d*² fest, geht aber lose um eine am Rande genutete Metallrolle *g* am Polstück *d*¹. Der Sprengdraht muß aus einem nicht oxydierenden Metall, z. B. Platin, bestehen und den geeigneten Widerstand haben. Beim Gebrauch wird die Drahtschlinge des mit

der einen Hand gehaltenen Werkzeuges um die Walze gelegt und das freie Ende *i* so angezogen, daß der Draht ringsum straff anliegt. In dieser Lage wird er mit einem Finger an das Griffbrett (das hier zum Schutz der Fiber einen Metallbelag *k* hat) angedrückt und festgehalten. Mit der anderen Hand wird nun der Schalter *e*

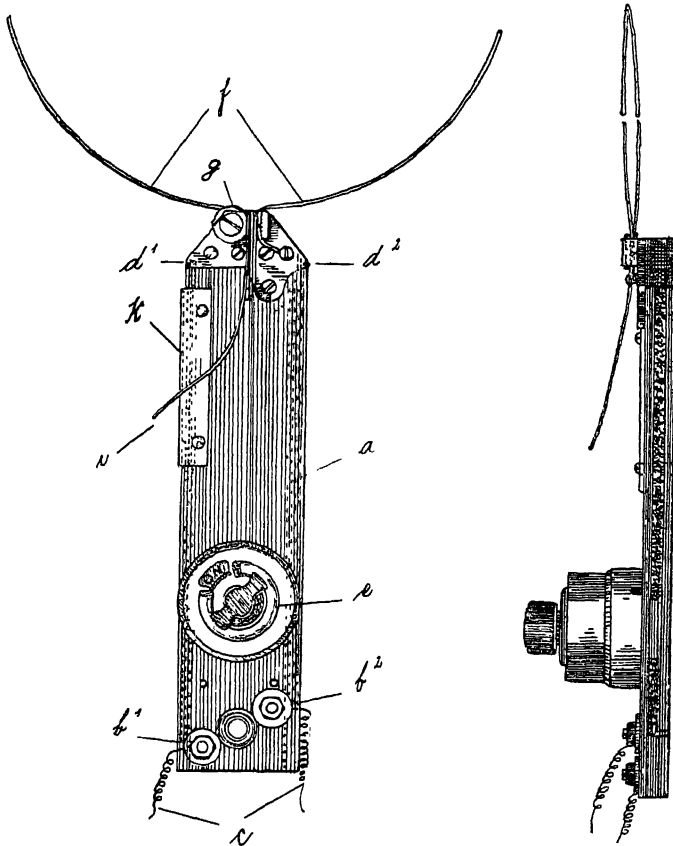


Fig. 166 Absprengvorrichtung von Hitner.

gedreht. Der Strom macht jetzt den Weg $b^2-d^2-f-g-d^1-b^1$ und der Sprengdraht erglüht. Da er hierbei etwas länger wird und nicht mehr fest anliegt, wird er noch etwas angezogen.

I ktri it't I i dir kt W~rm q II .

Wie bereits in der Einleitung zu dieser Schrift (Seite 18) erwähnt wurde, sind Vorschläge und Versuche gemacht worden, auch in indirekter Weise durch Elektrizität Glas zu erschmelzen, indem man durch elektrischen Strom Wasser in dessen beide

Bestandteile — Sauerstoffgas und Wasserstoffgas — zerlegt und die so gewonnenen Gase („Knallgas“) verbrennen läßt. Die Verbrennungstemperatur des Knallgases ist sehr hoch, wenn sie auch die Hitzgrade des elektrischen Lichtbogens nicht erreicht. Als einziges Verbrennungsprodukt entsteht hierbei Wasserdampf. Die das Knallgas bildenden Gase entstehen stets, wenn Gleichstrom von bestimmter Spannung durch Wasser oder wässrige Lösungen durchgeleitet wird. Dieser Vorgang spielt sich in den verschiedenen, jetzt in der Technik eingeführten Wasserzersetzungsanlagen (Apparate von Garuti und Pompili, Schmidt, Schoop, Schuckert, Siemens

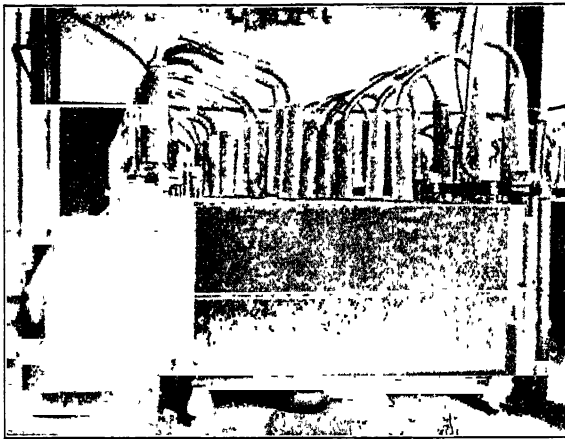


Fig. 167. Apparat von Garuti und Pompili zur Erzeugung von Sauerstoff und Wasserstoff.

& Halske) ab. Zur genaueren Orientierung über die technische Elektrolyse des Wassers und die Darstellung des Knallgases sei hier auf eine kleinere Schrift von M. U. Schoop¹⁾ und die viel ausführlichere Monographie von V. Engelhardt²⁾ verwiesen. Eine solche Anlage ist durch die Fig. 167 veranschaulicht. Der an der positiven Elektrode (Anode) sich entwickelnde Sauerstoff und der

1) M. U. Schoop, Die industrielle Elektrolyse des Wassers. Sonderausgabe aus der Sammlung elektrotechnischer Vorträge. Verlag von Enke. Stuttgart 1901.

2) Viktor Engelhardt, Die Elektrolyse des Wassers, ihre Durchführung und Anwendung. Verlag von Wilhelm Knapp, Halle a. S. 1902. Außerdem dürfte für alle, die mit Knallgas zu tun haben, die Kenntnisnahme von der „Untersuchung einer Wasserzersetzungsanlage“ durch E. Bosschard und A. Häuptli (Zeitschr. f. angew. Chemie 1905, Bd. 18, S. 1531) von Nutzen sein.

an der negativen Seite (Kathode) frei werdende Wasserstoff werden meistens getrennt aufgefangen und, falls sie nicht an Ort und Stelle verbraucht werden, in die bekannten Stahlflaschen, jeder für sich, komprimiert. Fertiges Knallgas, d. h. das Gemisch von Sauerstoff und Wasserstoff, kann infolge seiner äußerst explosiven Eigenschaften nicht komprimiert werden, und es ist weder im Handel zu finden, noch ist es zur Eisenbahnbeförderung zugelassen; Knallgas muß daher an Ort und Stelle des Gebrauches entweder durch Zersetzung des Wassers oder durch Mischung von Sauerstoff mit Wasserstoff erzeugt werden

Unter Zugrundelegung eines Elektrizitätspreises von 1 Pfg. pro Kilowattstunde kosten 10000 mit Knallgas erzeugte Kalorien

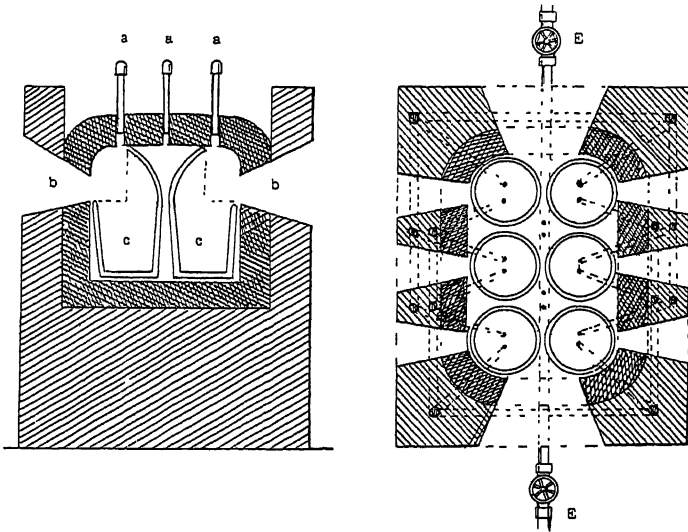


Fig. 168. Hafenofen für Knallgasfeuerung nach Garuti und Pompili.

65 Pfg. und die gleiche Kalorienzahl, mittels Lichtbogens erzeugt, nur 11,6 Pfg. Da jedoch die Knallgasfeuerung in ihrer Warmwirkung wie auch in ihrer chemischen Wirkung, die man leicht oxydierend und reduzierend machen kann, sich bei weitem besser, als der Lichtbogen regulieren läßt, und dazu auch die etwaige Verunreinigung durch den Kohlenabfall ausgeschlossen ist, so wird in einzelnen Fällen der Knallgasheizung der Vorzug gegeben.

Größere Versuche, Glas mittels Knallgas zu erschmelzen, sind von Garuti und Pompili in Tivoli bei Rom, wobei auch einige namhafte Glasfachmänner mitwirkten, angestellt worden. Wie dem Verfasser von einem der Beteiligten erzählt wurde, war das erhaltene Glas außerordentlich gut und klar durchgeschmolzen und konnte als

Kristallglas gelten. Garuti und Pompili bringen in ihrer Schrift¹⁾ Entwürfe (Fig. 168 u. 169) für mit Knallgas beheizte Hafen- und Wannenöfen.

Nach Privatmitteilungen der Erfinder konnten sie in 2 Stunden aus dem Glassatz (Quarz, Kalk und Soda) fertiges Kristallglas erhalten. Auf 1 kg erschmolzenes Glas verbrauchten sie 1 bis 1,2 cbm Knallgas, das aus 600 Volumina Wasserstoff und 333 Volumina Sauerstoff bestand. In einer 1000 pferdigen Wasserzersetzungsanlage kann man in 24 Stunden etwa 4800 cbm Knallgas erzeugen, das zur Herstellung von 5000 kg Glas genügt. Nach Berechnungen von Schoop stellt sich 1 cbm Knallgas auf 3,5 Pfg., wenn die Kilowattstunde mit 1 Pfg. bewertet wird. Wie aus den Figuren ersichtlich, sind die Öfen äußerst gedrängt gebaut, und Garuti legt besonderen Wert darauf, daß die Verbrennung des

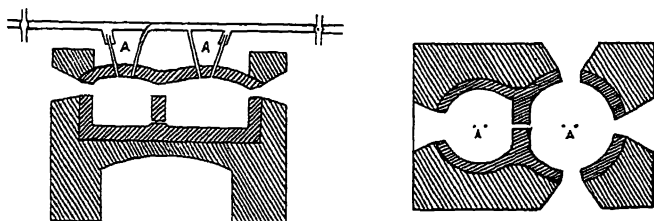


Fig 169 Wannenofen für Knallgasfeuerung nach Garuti und Pompili.

Gases sich innerhalb der Häfen selbst vollzieht, wodurch die Wärme besser ausgenutzt und die Häfen geschont werden. Der Wannenofen besteht aus zwei Abteilungen (Fig. 169), aus der einen wird das Glas ausgearbeitet, in der anderen der Glassatz geschmolzen.

Die Anlage- und Unterhaltungskosten der Öfen stellen sich sehr niedrig. Trotz diesem und dem noch weit wichtigeren Umstande, daß das Glas während des Schmelzens gar nicht verunreinigt werden kann, fand diese Feuerungsart bis jetzt nur bei der Quarzglasherstellung Anwendung.

Nach Schoop eignet sich Knallgas auch zum Zusammenlöten von Glas. So empfiehlt er unter anderem zur Herstellung von Glasgefäßen und Glaströgen für Akkumulatoren, je fünf gleichdicke Glasplatten um einen Kern von entsprechender Form anzuordnen und die vorgewärmten Ränder mittels Knallgasflamme miteinander vorzuschmelzen. Diese Arbeitsweise soll vielfach in England bei

1) „Electrolisi dell'acqua ed applicazioni dei gas ossigeno ed idrogeno“ (Eigenverlag).

Herstellung von Akkumulatorenkasten in Anwendung sein und sich recht gut bewährt haben.

Nach einer älteren Angabe führte E Ascherl¹⁾ in der Glasfabrik von H. Ascherl in Neubrunst die elektrolytische Zersetzung des Wassers ein und beabsichtigte, das gewonnene Knallgas zum Schmelzen von Glas zu verwenden. Es scheint jedoch, daß man zu ernsteren Versuchen in dieser Richtung dort nicht gekommen war.

1) Z. f. Elektroch. 1905, S. 551.

X. Q r l .

G chicht , H r t l l d i ch ft .

Auf der Ausstellung vom Jahre 1900 in Paris waren drei Platten aus geschmolzenem Quarz von etwa 40 mm Durchmesser und 10 mm Stärke zu sehen, die in den Zeiß-Abbe-Schottischen Werken in Jena von M. Herschkowitsch hergestellt wurden. Ein Jahr darauf hielt W. A. Shenstone in der Royal Institution von London einen groß angelegten Vortrag über „verglasten Quarz“. Wenn auch hierdurch und durch die im Jahre 1900 erfolgten Mitteilungen von Dufour und Le Chatelier in der Pariser Akademie dem Bekanntwerden der merkwürdigen und sehr wertvollen Eigenschaften des amorphen Quarzes mächtig vorgearbeitet wurde, so konnte doch gar leicht geschehen, daß der geschmolzene Quarz entweder wieder in Vergessenheit oder, was nicht viel besser ist, zwischen die physikalischen Raritäten geraten würde. Der Firma W. C. Heraeus hat man zu verdanken, daß sie zur rechten Zeit (im Jahre 1902) Gegenstände aus geschmolzenem Quarz zu erschwinglichen Preisen in den Handel brachte und so der Allgemeinheit die Möglichkeit bot, die Eigenschaften des „Quarzglas“ aus eigener Anschauung kennen zu lernen. Gar bald wurde das Quarzglas ein sehr geschätztes und für manche Zwecke geradezu unentbehrliches Hilfsmittel nicht nur bei wissenschaftlichen Untersuchungen, sondern fand auch Anwendung in der Heilkunde, in der Technik und im täglichen Leben.

Versuche von
Gaudin.

Der erste, von dem bekannt ist, daß er geschmolzenen Quarz erhielt, ist Gaudin, der seine Beobachtungen hierüber im Jahre 1839 der Pariser Akademie mitteilte und gleichzeitig einige, bis zu 1 m lange, sehr biegsame Fäden vorlegte. Aus seinen Abhandlungen¹⁾ sei folgendes entnommen:

Bergkristall läßt sich leicht im Sauerstoffgebläse schmelzen und im geschmolzenem Zustand durch Druck in Form bringen. Bei Temperaturen, die knapp über dem Schmelzpunkt des Berg-

1) Compt. rend. Bd. 8, 1839, S. 678 und 711.

kristalles liegen, verdampft er sehr stark. Ganz anders verhält sich die Tonerde, die zu schmelzen Gaudin ebenfalls gelang. Die geschmolzene Tonerde ist ganz dünnflüssig und sie erstarrt zu Kristallen, ohne den teigartigen, viskosen Zustand zu durchlaufen; auch ist sie lange nicht so flüchtig wie die Kieselsäure.

Setzt man Plättchen aus geschmolzenem Bergkristall zwischen zwei Turmalinen ein, so ist keine Spur von gefärbten Ringen wahrzunehmen. Zwecks genauerer Bestimmung des Verhaltens der Masse im polarisierten Licht übersandte Gaudin einige Stücke der Akademie zur Prüfung. Erhitzt man Fäden aus geschmolzenem Quarz in einem Platinrohr bis auf Weißglut und kühlt das Ganze langsam ab, so erscheinen die Fäden mit Splintern ganz überzogen und fast ganz zerfallen. Läßt man dagegen die weißglühenden Fäden in Wasser fallen, so erlangen sie hierdurch eine außerordentliche Festigkeit und Elastizität. Das gleiche Verhalten beobachtete Gaudin bei im Sauerstoffgebläse entstehenden Quarztropfen, die er in Wasser fallen ließ. Statt zu zerfallen oder zu zerspringen, blieben die erstarrten Tropfen ganz klar, so daß Gaudin dieselben als Linsen für Mikroskope empfiehlt. Dem Druck und Schlag gegenüber verhielten sich diese Quarztropfen ganz anders, wie die batavischen Tränen. Der Hammer springt zurück und drückt den Quarztropfen, ohne ihn zu sprengen, in den Ziegel hinein. Der abgeschreckte geschmolzene Quarz gleicht in bezug auf seine Härte und Elastizität dem Stahl, so daß er ein ideales Material für Torsionsfäden und Federn für Präzisionsinstrumente sein würde, wenn man ihn nur soweit bearbeiten könnte; aber zu Pinzettenspitzen und Häkchen zum Arbeiten im Gebläse und vielen anderen derartigen Dingen konnte man ihn ohne weiteres verwenden. Auch in Hinsicht auf seine elektrischen Eigenschaften bietet der geschmolzene Quarz viel Auffallendes.

Einige Silikate verhielten sich bei den Versuchen von Gaudin ähnlich dem Quarz, nur waren die erhaltenen Fäden nicht mehr durchsichtig, sondern rein weiß und perlmutterartig, zeigten Seidenglanz und riefen bei Berührung ein eigenartiges Gefühl hervor. Die Kügelchen glichen in gewisser Beziehung feinen Perlen, und Gaudin war der Meinung, daß eine Zeit kommen werde, wo man diese künstlichen Perlen, dank ihrer außerordentlichen Härte, den natürlichen Perlen, die nur die den Kalkverbindungen zukommende Härte aufweisen, bevorzugen wird.

Der Umstand, daß der erhitzte Quarz so hartnäckig in dem viskosen, teigartigen Zustand verbleibt, ohne ganz flüssig zu werden,

läßt sich nach Gaudin dadurch erklären, daß infolge der starken Verdampfung der Kieselsäure und der damit absorbierten Wärme, die Temperatur der Schmelze nicht steigen kann.

Auch der im Sauerstoffgebläse erhitze Smaragd ließ sich sehr gut in Faden spinnen, deren Härte so groß war, daß sie Bergkristall ritzen.

Versuche von
Gautier.

Dreißig Jahre später gelang es Gautier¹⁾, im Laboratorium von H. Sainte-Claire-Deville nicht nur Röhrchen und kleine Thermometer, sondern auch kapillare Schlangenrohre aus geschmolzenem Quarz herzustellen, die er bei seinen ersten Untersuchungen über die Geschwindigkeit der Gasreaktionen in ihrer Abhängigkeit von der Temperatur benutzte und dann auf der Pariser Weltausstellung vom Jahre 1878 in dem Kollektivschrank des Wurtzschen Laboratoriums ausstellte. Nach Gautier verhält sich geschmolzener Quarz ganz wie Glas und läßt sich wie dieses blasen. Später versuchte Gautier, von Moissan unterstützt, Quarz sowie Fluorin im elektrischen Ofen zu schmelzen und daraus Röhren und andere Gegenstände zu gießen, was ihm jedoch nicht ganz gelingen wollte.

Quarzfäden von
Boys.

C. V. Boys²⁾ gelang es, mittels Armbrust und Bogen Fäden aus Glas, Saphir, Rubin, Hornblende, Zirkon, Rutil, Cyanit, Flußspat, Augit, Feldspat und Quarz Fäden von 0,025 mm Dicke und etwa 30 m Länge herzustellen³⁾. Bei Quarzfäden fiel ihm das gänzliche Fehlen elastischer Nachwirkungen besonders auf. Im Jahre 1889 berichtete Boys über Quarz als elektrischen Isolator und im Jahre 1895 beschreibt er einen Apparat von höchster Präzision zur Bestimmung der Schwerkraft unter Anwendung von Torsionsfäden aus Quarz.

Die Arbeiten von Gaudin und Gautier gerieten völlig in Vergessenheit, und noch im Jahre 1892 wurde gelegentlich eines Vortrages von Callendar⁴⁾ die Herstellung eines Schutzrohres oder gar von Hohlkügelchen aus geschmolzenem Quarz als kaum

1) Compt. rend., Bd. 130, S. 816.

2) Philosophical Magazine (5) 1887, Bd. 45, S. 489; Chemical News 1887, S. 162; 1889, Juliheft; Philosophical Transactions 1895, S. 186, A. 1.

3) Genaue Anweisung zur Herstellung solcher Quarzfäden findet man in der vortrefflichen „Anleitung zum Glasblasen“ von H. Ebert (Verlag von Barth, Leipzig 1895). Diese Quarzfäden finden eine große Anwendung bei Aufhängungen von Ablesespiegeln bei Präzisionsinstrumenten an Stelle der früher verwendeten Coconfäden, sowie als Faden in Fadenmikrometern und als Objekte zur Prüfung der Sehschärfe der Mikroskope.

4) Journ. of the Iron and Steel Institution 1892, Nr. 1, S. 170.

durchführbar bezeichnet, so daß es Lowthian Bell leichter schien, eine solche Hohlkugel im Bergkristall auszubohren.

An der Jahrhundertwende begann man intensiver sich mit geschmolzenem Quarz abzugeben und im Jahre 1900 erscheinen die wichtigen Veröffentlichungen von Dufour¹⁾, Le Chatelier²⁾ und Villard³⁾. Dufour gewann aus den Arbeiten von Boys die Überzeugung, daß der Quarz beim Erhitzen zuerst viskos wird und sich daher wie Glas verarbeiten lassen muß. Es gelang ihm in der Tat, in der Flamme des Sauerstoffgebläses Quarz zu erweichen und aus diesem Röhrchen herzustellen. Nach Dufour ist die Anwendung von Gefäßen aus geschmolzenem Quarz von Bedeutung, hauptsächlich dort, wo man entweder Durchsichtigkeit mit Schwereschmelzbarkeit oder aber Durchsichtigkeit mit möglichst geringer Hygroskopizität und einer gut definierten chemischen Zusammensetzung vereint haben möchte. Zu der ersten Gruppe kann man z. B. Thermometer aus geschmolzenem Quarz zählen. Das von Dufour hergestellte Thermometer hatte eine Zinnfüllung und war für die Temperaturen von 240 bis 580 ° C. graduirt. Als Eichpunkte benutzte er die Siedepunkte von Quecksilber und Schwefel. Da die Erweichungstemperatur des Quarzes jedenfalls oberhalb 1000 ° C. liegt, so sieht er keine Schwierigkeiten, dies Thermometer zur Messung von Temperaturen bis 900 ° C einzurichten, wobei als weitere Eichpunkte das Sieden von Kadmium und Zink benutzt werden könnten. Damit das in der Kugel erstarrende Metall in einem solchen Thermometer dieses nicht sprengt, muß die Kugel dickwandig sein.

Arbeitsweise
von Dufour.

Zu der zweiten Gruppe von Apparaten zählte Dufour das Quecksilberthermometer aus geschmolzenem Quarz, von dem er hoffte, daß es keine Nullpunktverschiebung aufweisen wird, namentlich aber Röhrchen für spektroskopische Gasuntersuchungen. Er war der Ansicht, daß, falls seine Erwartungen, mittels solcher Röhrchen ein vollkommenes Wasserstoffspektrum zu erzielen, sich bewahrheiten, man zur Lösung der Frage, „welche Materie die Fortpflanzung der Elektrizität in Vakuumröhren vermittelt“, herantreten können würde.

Über die Herstellung der Röhrchen aus geschmolzenem Quarz machte Dufour folgende Angaben: Der Quarz wird erhitzt, dann

1) Compt. rend, Bd. 130, S. 775 und 1753.

2) Ebenda Bd. 130, S. 1701; außerdem Bd. 108, S. 1046 und Bd. 111, S. 123.

3) Ebenda Bd. 130, S. 1752

abgeschreckt und daraufhin im Gebläse zu Stäbchen von etwa 1 mm Durchmesser geschmolzen; dieser Teil der Arbeit ermüdet am meisten. Die Stäbchen werden dann schraubenförmig aufgedreht, die einzelnen Spiralen aneinander angeklebt und dann alles verschmolzen. Ist das Rohr soweit fertiggestellt, so kann man ihm jede gewünschte Form geben, es kugelförmig blasen, an- und zuschmelzen usw. Dank der Unempfindlichkeit des geschmolzenen Quarzes Temperaturwechseln gegenüber, können die oben aufgezählten Manipulationen mit beliebigen Pausen ausgeführt werden. Das wiederholte Erhitzen in oxydierender Atmosphäre beeinträchtigt die Durchsichtigkeit der Masse nicht; in reduzierender Atmosphäre tritt zwar Entglasung ein, die jedoch leicht zum Verschwinden zu bringen ist. Der Umstand, daß man ein weißglühendes Rohr aus geschmolzenem Quarz, selbst wenn es noch so schlecht und fehlerhaft geraten war, in kaltes Wasser bringen darf, ohne daß Risse und Sprünge entstehen, erschien auch Dufour sehr auffallend, er wußte jedoch nicht, hierfür eine Erklärung zu finden. Das tat noch in demselben Jahre Le Chatelier¹⁾, indem er darauf aufmerksam machte, daß geschmolzene Kieselsäure den geringsten Wärmeausdehnungskoeffizient von sämtlichen uns bekannten Substanzen hat. Ein Stab aus geschmolzenem Quarz ergab auf 100 mm Länge folgende Wärmeausdehnung:

Le Chatelier's Untersuchungen über die Wärmeausdehnung des Quarzes

Temperatur in Grad	180	532	588	700	750	850	942
Längenzuwachs in							

Millimetern . . .	0,005	0,038	0,050	0,075	0,090	0,080	0,070
-------------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Dies entspricht für die Temperaturen 0 bis 1000 ° C. einem mittleren Durchschnittskoeffizienten von 0,0000007²⁾. In der Meinung, daß der Quarz erst bei einer oberhalb des Schmelzpunktes des Platins liegenden Temperatur schmilzt, suchte Le Chatelier durch Beimengungen den Schmelzpunkt niedriger zu machen. Durch Zusatz von Tonerde nach dem Verhältnis 10 SiO₂, Al₂O₃ erhält man eine 100 ° C. unterhalb des Schmelzpunktes von Platin sich verflüssigende Masse (vergl. auch Seite 36). Bei sukzessivem weiteren Zusatz von Alkalien und Erdalkalien zu dieser Mischung gelangt man allmählich mit den bei etwa 1400 ° C. schmelzenden Massen in das Gebiet

1) Compt. rend., Bd. 130, S. 1701.

2) Die früheren, von Le Chatelier angegebenen, viel höheren Werte (Compt. rend., Bd. 108, S. 1046, und Bd. 111, S. 123) weisen darauf hin, daß er damals mit nicht vollständig verglastem Quarz operierte. Übrigens ist auch der hier angeführte Wert, 0,0000007, noch zu groß (vergl. die späteren Arbeiten hierüber).

der Porzellanglasuren, wobei mit dem Sinken der Schmelzpunkte die Ausdehnungskoeffizienten steigen. Nun versuchte Le Chatelier, ob es nicht ginge, durch Zusatz von Lithiumoxyd leicht schmelzbare Gläser von geringer spezifischer Ausdehnung zu erhalten. Ein nach der Formel: $10 \text{ SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Li}_2\text{O}$ zusammengesetztes und bei 1200°C . gebranntes Gemenge ergab, auf 100 mm Länge berechnet, folgende Ausdehnungen:

Temperatur in Grad	200	500	700	800	860
Längenzuwachs in Millimetern	0,01	0,035	0,05	0,09	0,15

Der Ausdehnungskoeffizient dieses Gemenges ist demnach zwar nur unwesentlich größer als der des geschmolzenen Quarzes, es stellte sich jedoch heraus, daß, je nach der Art des Brennens, man mitunter auch zu viel höheren Werten gelangt, was auf die ungleichen Verdampfungsverluste des Lithiums zurückgeführt werden kann.

W. A. Shenstone¹⁾ war es vorbehalten, zum ersten Male die Aufmerksamkeit auch weiter Kreise auf die Eigenschaften des „verglasten Quarzes“ und auf die Bedeutung, die dieser erlangen kann, zu lenken. Sein Bericht lautete im wesentlichen etwa wie folgt:

Verglaster
Quarz von
Shenstone.

Trotz der großen Verbesserungen in der Glasfabrikation durch Abbe und Schott, die zu bemerkenswerten Fortschritten in der Mikroskopie, der Thermometrie und in anderen Gebieten geführt haben, ist Glas doch für manche Zwecke, zu denen wir es brauchen, wenig geeignet, und es besteht ein wirkliches Bedürfnis nach einem plastischen Material, das schwerer schmelzbar, weniger löslich und elastischer als Glas ist, sowie höhere Lichtdurchlässigkeit aufweist und Temperaturveränderungen besser verträgt. Eine solche Substanz existiert in der Form verglasten Quarzes oder verglaster Kieselerde, wie sie wohl besser zu nennen wäre.

Der Quarz (Bergkristall), der schon von früher her oft für Brillengläser und optische Instrumente benutzt wird, findet sich in großen Mengen namentlich in Brasilien vor und weist schon in gediegenem Zustande viele der soeben als wünschenswert aufgezählten

Eigenschaften
des
Bergkristalls.

1) Proceedings of the Royal Institution 1901 und Nature (London) 1901, Bd 64, S. 65. Eine Bearbeitung dieses Vortrages veröffentlichte M. Rudolphi in der Frankfurter Zeitung vom 7. August 1901. Einige der hier mitgeteilten Angaben sind übrigens nicht dem Bericht von Shenstone, sondern seiner Schrift: „The Methods of Glasß Blowing“ (Verlag von Longmans Green & Co., London 1902) entnommen worden. Shenstone führte seine Versuche aus unter Assistenz von G. Lacell und mit finanzieller Unterstützung seitens des Staates.

Eigenschaften auf. Er ist hart, für ultraviolette Lichtstrahlen durchlässig, schwer schmelzbar, ein guter elektrischer Isolator und in den meisten Lösungsmitteln unlöslich, aber er hält plötzliche Temperaturänderungen sehr schlecht aus und ist daher bei höheren Temperaturen sehr schwer verwendbar. Durch Umschmelzen in den glasartigen Zustand übergeführt, verliert er seine Empfindlichkeit für Temperaturwechsel, wodurch erst seine Verwendbarkeit für viele Zwecke ermöglicht wird.

Das erste Hindernis, das sich der Herstellung verglaster Kieselerde entgegenstellt, liegt in der Neigung des Quarzes zum Zerspringen. Man darf ihn nicht in Berührung mit einer Flamme bringen. Es war daher anfangs außerordentlich schwierig, den Quarz in der Flamme zum Erweichen zu bringen. Nun stellt sich zwar das Arbeiten mit dem Quarz in der Flamme etwas leichter, wenn man ihn vorerst zerkleinert und die Quarzkörner im Platintiegel auf Rotglut erhitzt hat, aber die Schwierigkeiten bleiben immer noch recht groß, und es ist gar nicht zu sagen, wie viel Arbeit und Sauerstoff es kostete, bis das erste, etwa 5 ccm fassende Röhrchen fertiggestellt wurde.

Das Abschrecken des Quarzes.

Glücklicherweise fanden wir, daß das Springen des Quarzes verhindert werden kann, wenn man ihn in kleinen Stücken auf etwa 1000°C . erhitzt und dann schnell in kaltes Wasser wirft. Der Quarz wird hierbei weiß und emailartig. Wiederholt man diese Manipulation, so erhält man ein Produkt, das selbst in größeren Mengen plötzlich in den heißesten Teil der Knallgasflamme gebracht werden kann, ohne auch nur im geringsten weiter zu zerfallen.

Eine zweite Schwierigkeit bot die Auffindung der bestgeeigneten Gasflamme und eines passenden Brenners, wird doch der Quarz erst oberhalb des Schmelzpunktes des Platins genügend weich. Am besten bewährte sich der Brenner von Jackson (Brins Oxygen Company, Manchester). Bei Herstellung größerer Quarzglasgefäße kann man mehrere dieser Brenner zusammen gruppieren. Die Augen sind durch eine ganz dunkle Brille zu schützen. Bei andauernder Arbeit sieht man sich mit mehreren Brillen vor, um sie nicht zu heiß werden zu lassen.

Arbeitsweise von Shenstone.

Man beginnt die Arbeit, gleichviel ob es sich um Herstellung von Röhren, Stäben oder Kölbchen handelt, mit dem Abschrecken des brasilianischen Quarzes (Brazil Pebble). Zu diesem Zweck wird er zuerst gründlich abgerieben, in Wasser gekocht und dann stückweise in kaltes Wasser geworfen. Dies wird so oft wiederholt, bis

die Masse zerbröckelt, worauf sie mit einem sauberen Stahlhammer etwa zu 2 mm großen Körnern zerschlagen wird. Die Körner muß man mit der Hand einzeln auslesen und die, welche irgendwelche Beimengungen enthalten, wegwerfen. Die reinen, klar durchsichtigen Körner werden in einen Platintiegel getan, zugedeckt und in einer Muffel oder einem Gasofen bis auf Gelbglut erhitzt, woraufhin das Ganze in ein Gefäß mit destilliertem Wasser untergetaucht wird. Wenn nötig, wiederholt man das Abschrecken, bis man eine halbdurchschimmernde zerreibliche und dem weißen Email äußerst ähnliche Masse erhält. Man wäscht sie nochmals mit destilliertem Wasser, läßt abtropfen, trocknet gut ab, und nun wird die Masse, ohne vorgewärmt zu werden, direkt in der heißesten Stelle der Sauerstoffflamme bis auf Weißglut erhitzt und dann zusammengepreßt. Überhaupt erspart diese Aufbereitung dermaßen all die vielen verdrößlichen Schwierigkeiten, auf die man bei direkter Verarbeitung des Quarzes stößt, daß man nie zögern darf, diese Vorarbeit auszuführen.

Nun wird ein Quarzkörnchen mit einer mit Platinspitzen versehenen Pinzette gefaßt und im Sauerstoffgebläse erhitzt, bis eine der scharfen Kanten sich abrundet; ein zweites Körnchen wird dann an diese Stelle angepreßt und die beiden weiter erhitzt, bis sie gut verglasen, dann kommt ein drittes, viertes usw.; die Erhitzung erfolgt von unten nach oben, damit möglichst wenig Luftbläschen im fertigen Glas übrig bleiben. Man erhält auf diese Weise ein Stäbchen, wenn auch von noch unregelmäßigem Querschnitt. Dann werden einzelne Stellen des Stäbchens erhitzt und, sobald sie weich geworden sind, zu ziemlich groben Fäden ausgezogen. Bei sorgfältigem Umgang leidet die Pinzette bei dieser Arbeit nicht im geringsten. Etwa fünf Faden werden dann um einen, etwa 1 mm starken Platinstab gewickelt, an beiden Stabenden mittels Platindrähten angebunden und von einem Ende bis zum anderen langsam erhitzt, wobei der Platinstab allmählich hinausgeschoben wird, bis man ein 4 bis 5 cm langes rohes Röhrchen erhält. Ein Ende wird dann zugeschmolzen und zu einer Kugel geblasen, an die man ein anderes Quarzglasstäbchen anschmilzt. Jetzt wird die Kugel nochmals erhitzt und zu einem feinen Rohr ausgezogen; an dessen Ende wird eine neue Kugel aufgeblasen und wieder ausgezogen und so fort, bis das erhaltene Rohr 6 bis 8 cm lang wird.

Um aus kleinen Kugeln oder schwachen Röhren solche von größerem Durchmesser zu bekommen, erhitzt man ein feines Quarzglasstäbchen und legt es in Form eines Ringes um die Quarzglas-

kugel herum, wie es in der Fig. 170 zu sehen ist. Ist der Ring mit der Kugel verschmolzen, so wird diese weiter aufgeblasen. Nach Anschmelzung mehrerer solcher Ringe wird die Kugel mehr oval und bildet ein kurzes Rohr, das beliebig ausgezogen werden kann. Bei Herstellung sehr langer Rohre empfiehlt es sich, zuerst mehrere Stücke von etwa 20 bis 25 cm Länge und dem gewünschten Durchmesser anzufertigen und sie dann aneinander anzuschmelzen. Dagegen ist es nicht ratsam, statt der Ringe Quarzkörner an die Kugel anzuschmelzen, da die Wandung dann zu dünn wird und man während der ganzen weiteren Arbeit fortwährend die Gefahr vor sich hat, daß beim Blasen die Kugel bald hier bald da aufgeht. Man kann zwar die durchlochten Stellen wieder zuschmelzen, allein das Ganze wird zu unansehnlich. Handelt es sich um Verarbeitung eines so weiten Rohres, daß es beim Rotieren in der Flamme von dieser nicht mehr von allen Seiten umspült wird, so setzt man vor die Flammenspitze eine Quarzplatte, so daß die Flamme noch an

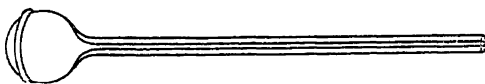


Fig. 170. Herstellung von Quarzglasgefäßen nach Shenstone

diese heranreicht und nach oben abgelenkt wird. Eine solche Quarzplatte kann man durch Aneinanderkleben von bis zum Erweichen erhitzten Quarzkornern erhalten.

Die Quarzglasröhren werden ganz wie Glas behandelt, indem man sie mit der Feile schneiden und abbrechen, in einer genügend heißen Flamme aneinander anschmelzen und auch in dünnere Rohre ausziehen kann. Will man zwei Quarzglasstücke T-artig miteinander verbinden, so wird an der Stelle, wo der Zusammenstoß stattfinden soll, zuerst ein Quarzglasring, dann ein zweiter, dritter usw. angeschmolzen, bis an dieser Stelle ein ganz kurzes Rohr von etwas größerem Durchmesser, als die des anzusetzenden Stückes entsteht. Dann ist es eine Leichtigkeit, ein längeres Rohr einzuführen und zu verschmelzen. Auf diese Weise kann man auch Geißlersche Röhren, Destillationskölbchen und dergleichen mehr herstellen.

Vorsichtsmaß-
regeln bei der
Herstellung von
verglastem
Quarz.

Es ist bei diesen Arbeiten darauf zu achten, daß Quarzglas stark zur Entglasung neigt und gar leicht einen weißen, wie es scheint, etwas alkalihaltigen Anflug bekommt¹⁾. Dies ist jedoch

1) Die brasilianischen Kristalle färben beim ersten Erhitzen die Flamme gelb; in vielen derselben lassen sich spektroskopische Mengen von Lithium nachweisen. Über eine andere Erklärung der „Entglasung“ des Quarzglases vergl. u. a. die Versuche von Herschkowitsch

nicht schlimm und, falls die Stelle sonst sauber war, so läßt sich der weiße Anflug durch wiederholtes Erhitzen zum Verschwinden bringen. Wird dagegen eine staubige, oder mit den Händen angefaßte Stelle in die Flamme gebracht, so kann es sehr leicht vorkommen, daß die betreffende Stelle nie mehr klar zu bekommen ist; die Sauberkeit ist daher die erste Bedingung des Gelingens.

Es ist fernerhin zweckmäßig, beim Ausblasen von Kugeln das Quarzglasstück nicht direkt an den Mund zu fuhren, sondern es mit einem Gummischlauch und mit einem mit fester Pottasche lose beschickten Glasrohr zn verbinden, wodurch man Gewähr erhält, daß die Innenseite sauber bleibt. Die fertig geblasenen Gegenstände

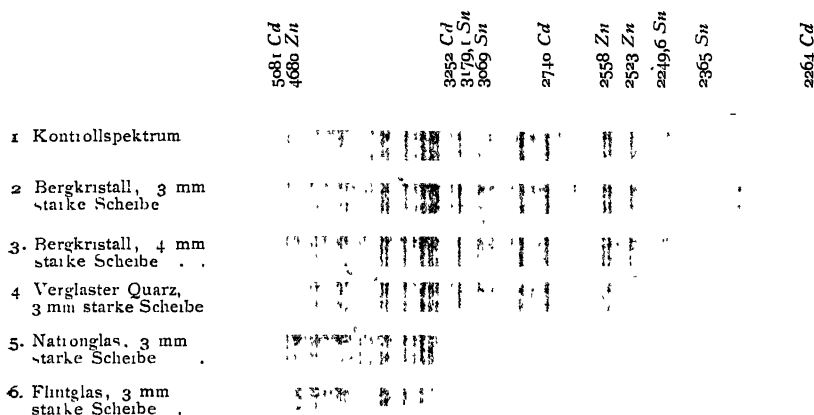


Fig 171 Vergleiche der Lichtdurchlässigkeit

enthalten meistens etwas Feuchtigkeit und nachweisbare Mengen von Stickstoffperoxyd. Dies letztere läßt sich durch Durchblasen von filtrierter Luft unter gleichzeitigem Erhitzen des Stuckes viel leichter entfernen, als durch Waschen mit Wasser, da es überhaupt schwierig ist, Wasser zu finden, das auf dem Quarzglas keinen Rückstand hinterläßt.

Verglaster Quarz ist härter als Feldspat, aber weniger hart als Chaledon. Mit der Feile läßt er sich wie Glas schneiden. Seine Wärmeleitfähigkeit ist ungefähr die gleiche wie beim Glas. Wie Boys bereits festgestellt hat, bleibt Quarz, selbst in einer mit Feuchtigkeit gesättigten Atmosphäre guter elektrischer Isolator. Das spezifische Gewicht von nicht ganz blasenfreien Stücken ist 2,21, so daß es beträchtlich geringer als dasjenige des Bergkristalles (2,66) ist.

Eigenschaften
des verglasten
Quarzes.

Die Lichtdurchlässigkeit des neuen Glases für ultraviolette Strahlen wurde von A. Wynter-Blyth untersucht, indem er den

zwischen Elektroden aus verschiedenen Metallen und Legierungen (Quecksilber, Zinn, Zink und Kadmium) überspringenden elektrischen Funken durch Scheiben aus Bergkristall, Quarzglas, gewöhnlichem Natronglas und Flintglas photographierte. Die Ergebnisse dieser Versuche sind in der Fig. 171 veranschaulicht. Wie ersichtlich, konnten durch Bergkristall und Quarzglas die Lichtstrahlen bis zur Wellenlänge von $226,4 \mu\mu$ und bei Natronglas und Flintglas nur die bis zur Wellenlänge $312,5$ und $325,2$ aufgenommen werden. Für spektroskopische Untersuchungen ist daher das neue Glas unbedingt vorzuziehen.

In einer weiteren Abhandlung heben J. W. Gifford und W. A. Shenstone¹⁾ außerdem noch folgendes Moment hervor, die den verglasten Quarz als besonders geeignet für optische Instrumente erscheinen lassen:

Bekanntlich weisen Gläser aus dem nämlichen Glassatze aber aus verschiedenen Schmelzungen, selbst wenn man sich Muhe gibt, die Schmelzoperationen in ganz gleicher Weise auszuführen, Verschiedenheiten in ihrer chemischen Zusammensetzung auf. Im Gegensatz hierzu ist die chemische Zusammensetzung der Quarzgläser stets die gleiche. Verglaster Quarz ist gegen alle Gase (mit Ausnahme von fluorhaltigen), wie auch gegen die meisten gewöhnlichen Lösungsmittel völlig unempfindlich; sein Lichtbrechungsindex ist gering und nähert sich demjenigen des Fluorits; das Rohmaterial für Quarzglas läßt sich jedoch leicht beschaffen, was bei Fluorit nicht der Fall ist. Die Zerstreuungskraft des Quarzglas es ist bedeutend stärker als die des Bergkristalles, die diesem Naturprodukte zukommende Doppelbrechung fehlt jedoch.

Gifford und Shenstone untersuchten zwei Quarzglasprismen mit Seitenwinkeln zu 60° , von denen das eine bei einer Seitenlänge von 32 mm eine Höhe von 44 mm hatte, und das andere ein aus vier gleichen Prismen von 38 mm Seitenlänge und 16 mm Höhe zusammengesetztes, insgesamt 56 mm hohes Compoundprisma war. Sie waren in der oben geschilderten Weise von der Firma Bird & Tatlock unter Anwendung besonderer Sorgfalt hergestellt, da es sich gewissermaßen um Beschaffung von Urmustern von Prismen zwecks Vergleiches und Kontrolle von optischen Glasern handelte. So z. B. wurden die im Rohmaterial auf spektroskopischem Wege

1) The optical Properties of vitreous Silica. Proceedings of the Royal Society of London 1904, Bd. 73, S. 201, sowie Abhandlung von Stöcke, in der Deutsch. Mechanikerzeitung 1904, S. 187.

nachgewiesenen Spuren von Natrium und Lithium beim Schmelzen in dem Sauerstoffgebläse nach Möglichkeit vorerst entfernt. Die Herstellung jedes der Prismen beanspruchte mehrere Tage. Die Stücke wurden nach jeder Unterbrechung von neuem durch und durch erhitzt, bevor man mit dem Zufügen von neuen Körnern begann. Auch wurde während der ganzen Herstellungsdauer strengstens darüber gewacht, daß die Stückchen weder mit Rauch noch mit den Fingern des Schmelzers in Berührung kamen. Die so hergestellte glasige Masse erwies sich beim Prüfen mit dem Spektrometer als optisch nicht ganz homogen. Das Stück wurde daher in ein dickes Platinblech eingeschlagen, in einem Sauerstoffgebläse fast bis zum Schmelzen des Platins erhitzt und lange Zeit bei dieser Glut gehalten; dann wurde es durch ganz langsame Verkleinerung der Flamme allmählich abgekühlt und schließlich nach Unterbrechung des Gaszutrittes in dem gut verschlossenen Ofen sich selbst überlassen.

Die optischen Messungen, die mit dem einfachen Prisma und mit dem aus vier Stücken zusammengesetzten und so aus vier verschiedenen Schmelzungen herrührenden Compoundprisma angestellt wurden, ergaben gut übereinstimmende Resultate. Gifford und Shenstone bezweifeln, ob eine solche Übereinstimmung bei gewöhnlichen Gläsern aus verschiedenen Schmelzoperationen erzielt werden könnte. Ein Compoundprisma von Schottischem Borsilikatflint (Nr. 0,364), die aus vier, von ein und derselben Schmelze herrührenden Teilen zusammengesetzt war, ergab viel weniger befriedigende Resultate als das Compound-Quarzglasprisma.

Die bemerkenswerteste Eigenschaft dieser glasartigen Kiesel-
erde aber liegt in ihrem Verhalten bei plötzlichen Temperatur-
änderungen. Man kann solche Röhren unvorgewärmt in eine Knall-
gasflamme bringen, ohne daß sie springen; daß die aus verglastem
Quarz gefertigten Apparate nicht gekühlt zu werden brauchen, wurde
schon erwähnt. Aber nicht genug damit; man kann auf eine weiß-
glühende Röhre von Quarzglas Wasser tropfen lassen oder sie in
diesem Zustande in kaltes Wasser oder gar in flüssige Luft, deren
Temperatur fast 190° unter Null beträgt, tauchen, ohne irgendwelchen
Schaden für das Rohr. Diese Eigentümlichkeit erklärt sich aber
sehr leicht aus den Messungen der Ausdehnung des neuen Glases
mit der steigenden Temperatur: da der Ausdehnungskoeffizient sehr
gering ist, so tritt bei plötzlichem Erhitzen oder Abkühlen nur eine
geringe Spannung in der Masse ein, und dann ist zu berücksichtigen,
daß der Ausdehnungskoeffizient in dem Temperaturbereiche von

Unempfindlich-
keit des Quarz-
glases gegen
Temperatur-
wechsel

800 bis 1500 ° sein Vorzeichen ändert, so daß die nacheinander auf tretenden Spannungen sich zum Teil wenigstens gegenseitig aufheben.

Die eigenartigen Ausdehnungsverhältnisse des Quarzes beim Erwärmen sind eingehend zuerst von Le Chatelier untersucht worden und lassen sich am besten aus den von ihm aufgezeichneten Kurven (Fig. 172) für Bergkristall und geschmolzenen Quarzes ersehen.

Der Schmelzpunkt des Quarzglas es ist noch nicht bestimmt worden (1901), jedenfalls bleibt es plastisch innerhalb eines großen Temperaturintervalles. Bettet man einen Platindraht in eine dicke Quarzglasröhre ein und erhitzt diese mittels einer Knallgasflamme, so schmilzt das Platin und bleibt flüssig, während das Rohrmaterial

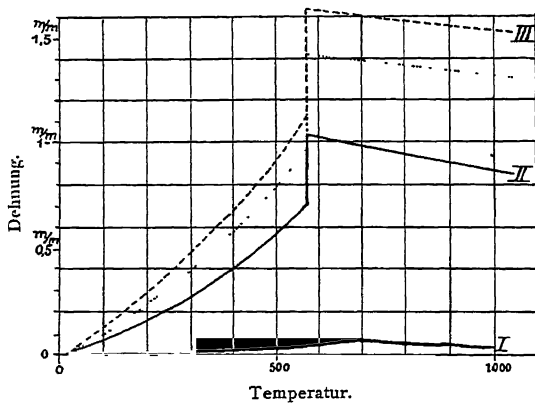


Fig 172 Le Chateliers Messungen der Wärmeausdehnung

I des geschmolzenen Quarzes,
II des Bergkristalls parallel zur Achse,
III - - - senkrecht zur Achse,
IV saurer (quarziger) Steine.

die feste Form noch behält¹⁾. Nach den neuen Untersuchungen von Callendar ist der von Le Chatelier angegebene Ausdehnungskoeffizient des Quarzglas es (0,0000007) noch zu hoch; Shenstone nimmt an, daß die von Le Chatelier im elektrischen Ofen hergestellten und dann untersuchten Muster nicht genügend rein

waren. Callendar bestimmte an dem Glas von Shenstone den mittleren Ausdehnungskoeffizient zu 0,00000059, der mithin nur $\frac{1}{17}$ desjenigen des Platins, sowie überhaupt von allen bekannten Substanzen der kleinste ist. Quarzglasstäbe dehnen sich mit steigender Temperatur (bis etwa 1000 °) zuerst außerordentlich regelmäßig aus. Überschreitet man die Temperatur von 1000 ° nicht und läßt den Stab erkalten, so zieht er sich genau zur ursprünglichen Größe wieder zusammen. Nach Callendar bleibt Quarzglas, selbst bei 1500 °, noch so gut wie ganz fest, was insofern von Wichtigkeit ist, als man sonst Angaben findet, nach denen man bereits gegen 1000 °

1) Aus den späteren Versuchen von Day und Genossen geht jedoch unzweifelhaft hervor, daß der Erweichungspunkt des Quarzes etwa 200 ° unterhalb des Schmelzpunktes von Platin liegt.

die ersten Anzeichen des Plastischwerdens des Quarzglas beob-
achten könne. Oberhalb der Temperatur von 1000° verringert sich
die Wärmeausdehnung und geht bei 1200° in eine Zusammen-
ziehung (Schwindung) über. Kühlt man es von 1500° auf 1200°
ab, so dehnt es sich dabei aus.

Dünne Quarzglasstäbchen und Faden neigen dazu, nach dem
Erhitzen auf Rotglut zerbrechlich zu werden; an dickeren Röhren
und Stäben wurde jedoch dies nicht beobachtet.

Wie Dufour, so ist auch Shenstone der Meinung, daß das
ureigenste Anwendungsgebiet des Kieselerdeglases — die Thermo-
metrie sei. Infolge des geringen Ausdehnungskoeffizienten des Quarz-
glases ist der Grad eines solchen Quecksilberthermometers länger als
der eines Glasthermometers von gleicher Quecksilberfüllung. Die
hohe Schmelztemperatur des Materiales erlaubt die Anwendung des
Thermometers auch zum Messen höherer Temperaturen, wozu aller-
dings das Quecksilber durch Zinn oder ein anderes Metall ersetzt
werden müßte; dank der großen Elastizität des Quarzglas wird
der Nullpunkt des Thermometers stabiler sein, als dies bei einem
Glasthermometer der Fall ist. Auch für Luftthermometer dürfte das
neue Material vor allem wegen seines hohen Schmelzpunktes Vor-
züge vor dem gewöhnlichen Glas haben.

Vorzüge des
Quarzglas für
Thermometrie
und
Apparatenbau

Das Verhalten dieser Glasart gegenüber den verschiedenen
Lösungsmitteln¹⁾ ist noch nicht näher untersucht, aber aus dem
äußerst passiven Verhalten der sonstigen Modifikationen der Kiesel-
säuren ist zu schließen, daß sie in einzelnen Fällen, z. B. bei den
Kondensationsapparaten zur Darstellung absolut reinen Wassers,
das Platin ersetzen wird; Quarzglasgefäße würden wahrscheinlich
auch bei exakten Untersuchungen über Gefrier- und Siedepunkte
verdünnter Lösungen den jetzt benutzten gewöhnlichen Glasgefäßen
vorzuziehen sein; nur würden natürlich solche Gefäße der Ein-
wirkung von Alkalien gegenüber empfindlich sein. Endlich wäre
das neue Glas bei Untersuchungen von reinen Gasen, sowie bei
Experimentieren bei hohen Temperaturen dem gewöhnlichen Glas
vorzuziehen.

Allerdings hat aber auch das Quarzglas noch Mängel auf-
zuweisen. So wird es bei etwa 1000° wie das Platin, aber in
geringerem Grade, schwach durchlässig für Wasserstoff. Besonders
empfindlich ist es den Alkalioxyden gegenüber. Bis zu 960° kann

1) Vergl. jedoch Mylius und Meuser, S. 216

man Quarzglas in Berührung mit Kupferoxyd ohne Schaden erhitzen, bei höherer Temperatur aber wird es dabei angegriffen.

Shenstone schließt mit dem Hinweise, daß in verschiedener Hinsicht das Quarzglas dem besten Jenaer Glas weit mehr überlegen ist, als dieses den gewöhnlicheren Glassorten. Die in den letzten Jahren gemachten Fortschritte in der Herstellung von Quarzglas werden den Forschern ermöglichen, es in weit ausgedehnterem Maße als bisher zu verwenden. Das Herstellungsverfahren aber befindet sich noch in dem ersten Anfangsstadium; es wird viel daran zu verbessern sein, und weitere Fortschritte werden nicht wenig Aufwand und Arbeit kosten.

Gegen Ende 1901 wies der Verfasser in einem Briefe an Shenstone unter Beifügung einiger Fäden und Stäbchen aus geschmolzener Kieselsäure auf die Möglichkeit hin, beim Arbeiten im elektrischen Lichtbogen statt des Quarzes Sand als Ausgangsmaterial zu benutzen. Shenstone meinte hierauf, daß für viele Zwecke trübes Quarzglas, wie man es aus Sand bekommt, recht gut brauchbar ist, daß aber für Apparate zu wissenschaftlichen Untersuchungen man nur ganz reinen Quarz verwenden kann.

Bei seinen diesbezüglichen Versuchen bediente sich der Verfasser des bereits auf Seite 235 beschriebenen, mit Sand ausgefüllten Schmelzsteines. Als Rohmaterial kam rheinischer sogen. Kristallsand, wie ihn die Glashütten verwenden, teils im losen Zustand, teils in Form von kleinen Ziegeln in der Größe von Streichholzschachteln zur Verwendung, wobei als Bindemittel gewöhnliches oder mit einer Spur Wasserglas versetztes Wasser genommen wurde. Die nach dem Schmelzen erstarrten Massen zeigen das Aussehen von durchschimmernden Emailstücken, sind stark glänzend und fast weiß; nur einzelne dünne Kanten waren glasklar; die Undurchsichtigkeit der erhaltenen Stücke scheint hauptsächlich durch die eingeschlossenen zahllosen, winzig kleinen Bläschen verursacht zu sein. So lange die Quarzmasse unter oder in unmittelbarer Nähe des Lichtbogens bleibt, verhält sie sich ganz wie geschmolzenes Glas und läßt sich mit Leichtigkeit auf Quarzfäden beliebiger Stärke und Länge verarbeiten. Nur darf die Quarzmasse, so lange sie weich ist, mit Eisenwerkzeugen nicht berührt werden. Das Eisen (auch Schmiedeeisen) sprüht bei Berührung selbst mit der schon ganz zäh gewordenen Quarzmasse sehr stark und verursacht auf der Oberfläche der Quarzmasse schwarze, scharf umgrenzte Flecke, die sich jedoch in der übrigen Masse, wie es scheint, nicht auflösen. Die von den Elektroden (namentlich von Dochkohlen der Schein-

Bronns Ver-
suche, Sand zu
schmelzen.

werferqualität) abfallende Asche macht auf der sonst sehr schönen emailartigen Masse grünlich-graue Flecke. Die dünnen Quarzfäden waren ganz durchsichtig, die stärkeren stark glänzenden Fäden aber nicht mehr. Ein Teil der Kieselsäure verdampft und kondensiert sich auf den umliegenden Gegenständen zu einem weißen, zarten, käsigen Niederschlag. Im Sommer 1902 konnte der Verfasser mit den in den Alpen gesammelten grau-weißen Quarzstücken, die mit kleinen Bergkristallen durchsetzt und mitunter mit roten eisenhaltigen Adern durchzogen waren, Schmelzversuche anstellen. Die Stücke wurden, ohne abgeschreckt oder sonstwie vorbehandelt zu werden, zu einer Hohlung um die Kohlenelektroden aufgeschichtet und der Wirkung eines Lichtbogens von etwa 120 Amp. und 120 Volt (Gleichstrom) ausgesetzt; es wurden dabei pfundschwere durch und durch geschmolzene, jedoch nicht durchsichtige Emailstücke erhalten. Die dem Lichtbogen entlegener gewesenen Stücke blieben zwar ungeschmolzen, waren aber in ihrem Aussehen ganz verändert und glichen blendend weißem Porzellan. Hielt man das Ganze im weißglühenden Zustande unter einem Wasserstrahl, so zerbröckelte der ungeschmolzen gebliebene Teil und ließ sich von dem geschmolzenen Kern ohne weiteres abschälen. Der ursprüngliche Eisengehalt verschwand selbst aus der ungeschmolzenen mürben Schale gänzlich, und konnte weder mit gelbem, noch rotem Blutlaugensalz nachgewiesen werden, was auf die Flüchtigkeit der Eisenoxyde zurückzuführen ist. Wurden die emailartig gewordenen Quarzstücke in daumengroße Stücke zerschlagen und dann nochmals dem Lichtbogen einzeln ausgesetzt, so erhielt man vollkommen durchsichtige wasserklare Stücke.

Etwa zu gleicher Zeit wies auch R. S. Hutton¹⁾ darauf hin, daß man statt des Knallgasgebläses einer durch einen Elektromagneten angeblasenen Lichtbogenstichflamme sich bedienen kann. Ein Lichtbogen von 15 bis 20 Amp. erwies sich jedoch als zu schwach, dagegen ergab ein mit etwa 50 Amp. gespeister Lichtbogen (der Magnetisierungsstrom ist nicht mit inbegriffen) zufriedenstellende Resultate.

Huttons
Versuche.

Hutton machte bei diesen Versuchen die wichtige Beobachtung, daß man als Halter bzw. als Unterlage für den zu schmelzenden Quarz Kohle benutzen kann, nur muß sie möglichst aschenarm sein, es empfiehlt sich daher, hierfür Elektrodenkohle oder, noch besser, künstlichen Graphit zu verwenden.

1) The Electrochemist and Metallurgist 1902, S. 107.

An Stellen, wo der schmelzende Quarz von dem Lichtbogen direkt berührt wird, entstehen mitunter schwarze Flecke, die jedoch verschwinden, sobald diese Stellen dem Luftzug ausgesetzt werden; in dieser Beziehung ist das Verhalten des schmelzenden Quarzes dem Lichtbogen gegenüber durchaus analog dem Verhalten des bleihaltigen Glases im Lötrohr oder in der Gasflamme.

Hutton ging dann zum Arbeiten im geschlossenen Ofen über, in dem dank der Verringerung der Wärmeausstrahlung nach außen und durch die Wärmekonzentration mittels eines Elektromagneten die Wärmeausnutzung eine bedeutend bessere war, und suchte nun darin recht dickwandige Quarzglasrohre von etwa 3 mm lichter Weite herzustellen. Er bediente sich hierbei eines durch die Fig. 173 veranschaulichten Ofens, der mit etwa 300 Amp. bei

50 Volt betrieben wurde. In der 25 bis 30 cm langen Rinne *a* aus Kohle befanden sich die zu schmelzenden Quarzkörner *b* mit dem Kohlenkern *c* und den Seitenleisten *d* ebenfalls aus Kohle. Die Rinne *a* mit ihrem Inhalt wurde langsam im rechten Winkel

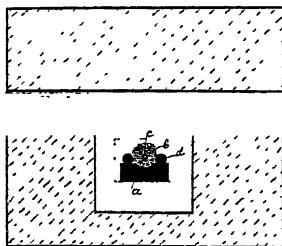


Fig 173. Arbeitsweise von Hutton.

zu dem Lichtbogen vorwärts geschoben, bis der ganze Quarz zusammenschmolz. Auf die Gleichförmigkeit der Körnung kommt es hierbei nicht an, auch stellte es sich heraus, daß es besser ist, die Körnung des Quarzes nicht gar zu fein zu wählen. Das so erhaltene Quarzglasrohr löst sich leicht von der Kohlenunterlage ab und auch die Entfernung des Kohlekernes bietet keine Schwierigkeiten. Das Rohr wird dann zwecks besseren Aussehens unter fortwährendem Drehen nochmals im Lichtbogen erhitzt; trotzdem die Röhren auch dann noch zahlreiche Luftbläschen enthalten, sind sie doch für die meisten Zwecke gut verwendbar und sind von der gleichen Unempfindlichkeit gegen schroffen Temperaturwechsel wie ganz klares Quarzglas. Übrigens wird das Aussehen und die Durchsichtigkeit des so hergestellten Glases bei der Verarbeitung der dickwandigen Röhre auf dünnwandige Kölbchen, Tiegel und dergl. gefälliger.

Wird statt Quarz ganz reiner weißer Sand in der geschilderten Weise verarbeitet, so erhält man ein noch weniger durchsichtiges Glas; dagegen kann man zum schmelzenden Quarz etwas Sand zugeben, ohne daß die Lichtdurchlässigkeit des erhaltenen Glases benachteiligt wird.

Später soll Hutton seine Arbeitsweise in der Weise geändert haben, daß durch ein Rohr oder einen Stab aus Kohle, der ganz von Sand umgeben war, während einiger Minuten ein starker Strom hindurchgeschickt wurde, bis die an der Kohle anliegenden Sandkörner eine Art Scheide aus Quarzglas gebildet haben. Die Stromintensität und die Dauer des Stromdurchganges wird nach der gewünschten Wandstärke und dem Durchmesser des herzustellenden Rohres reguliert. Die erhaltenen Rohre sind runzelig, undurchsichtig und an ihrer Innenseite mit Karborund bedeckt. Im ubrigen weisen auch sie die wertvollen Eigenschaften des Quarzglases, namentlich dessen Unempfindlichkeit den Temperaturänderungen gegenüber auf. Zerkleinert man die in dieser Weise erhaltenen Gegenstände, so erhält man glasartige weiße Körner.

R. Threlfall¹⁾ versuchte, nach demselben Verfahren, auch ein weites Rohr aus geschmolzenem Magnesit herzustellen, ohne jedoch viel Erfolg zu ernten.

Anfang 1902 brachte die Firma Bird & Tatlock in London kleine Quarzglasgerätschaften in den Handel, die bei ihr nach der von Shenstone und Lacell ausgearbeiteten Methode hergestellt wurden; auch bot sie sich an, ihre Kunden in der Bearbeitung von Quarzglas zu unterrichten.

Auf dem Kontinent war es die Firma Heraeus, unter Beteiligung von Dr. Siebert und Kühn, die mit der fabrikmäßigen Herstellung von Quarzglasgefäßen zuerst hervortrat und, soweit dem Verfasser bekannt ist, die bis jetzt noch als die einzige auf diesem Gebiete geblieben ist. In die Öffentlichkeit trat sie mit ihren Quarzglasgefäßen gelegentlich der im Mai 1902 stattgefundenen Versammlung der Deutschen Bunsengesellschaft²⁾ hervor. Ein Jahr später hielt H. Heraeus³⁾ auf dem Kongreß für angewandte Chemie unter Vorführung einer reichhaltigen Kollektion von Quarzglasgefäßen und Apparaten einen größeren Vortrag über die neue Glasart, deren Eigenschaften und Herstellung. Aus diesem Vortrage sei folgendes entnommen:

Bereits im Jahre 1899 gelang es Heraeus, größere Mengen Bergkristall auf einmal im Knallgasofen zu schmelzen; er benutzte hierzu Gefäße aus reinem Iridium, dem einzigen bekannten Material, welches die zum Schmelzen nötige Temperatur von wenigstens

Arbeitsweise
von Heraeus.

1) Nach einem Vortrag in Birmingham. L'Electricien 1905, S. 424.

2) Z. f. Elektroch. 1902, S. 512, 798 und 861.

3) Z. f. Elektroch. 1903, S. 847 und Verhandlungen des V. Kongresses (Berlin).

1850 ° C.¹⁾ aushält und dabei keinerlei Anlaß zu Verunreinigungen des Schmelzgutes bietet. Dann wurde das auf solche Weise erzeugte Glas mit Hilfe der Firma Dr. Siebert & Kühn vor dem Knallgasgebläse zu Gefäßen verarbeitet.

„Die Technik der Herstellung von Gefäßen aus Quarzglas umfaßt zwei Aufgaben: Erstens die Erschmelzung des Glases und zweitens die Formung des Glases zu Gefäßen.

Was die erstere Aufgabe anbetrifft, so hat die Natur uns in vielen Varietäten des Bergkristalles ein Material von so idealer Reinheit und Klarheit geschaffen, daß man es auf das lebhafteste bedauern muß, daß es nicht möglich ist, die großen, klaren Stücke, welche uns z. B. Brasilien liefert und welche in natura zu zahlreichen optischen Apparaten verschliffen werden, einfach einem Erweichungsprozeß zu unterwerfen, um daraus ein ebenso homogenes und klares Glas zu erhalten. Der Bergkristall muß bekanntlich bei der Erwärmung ein Temperaturgebiet durchlaufen, in welchem eine plötzliche Aenderung seiner vorher stetigen Ausdehnung eintritt, die in interessanter Weise parallel läuft mit einer Aenderung der optischen Eigenschaften.

In diesem bei 570 ° C. liegenden Gebiet zersplittern einigermaßen große Stücke in zahlreiche Bruchstücke. Aus diesem Grunde war es z. B. Shenstone nicht möglich, im Knallgasgebläse einigermaßen größere Stücke zum Erweichen zu bringen. Er erhitzte vielmehr größere Stücke auf etwa 1000 ° C., warf sie in Wasser und erhielt nun ein Material, welches zwar seine Klarheit vollkommen verloren hatte, welches er aber nun, ohne daß es weiter zerfiel, weil es eben schon durch die Abschreckung in kleinste Teilchen zerfallen war, im Knallgasgebläse verglasen konnte. Ich habe dies nachzumachen versucht, erhielt aber naturgemäß ein Glas, welches mit kleinsten Luftbläschen dicht erfüllt war, so daß ich dazu zurückkehrte, das Produkt, wie es die Natur liefert, in Iridiumgefäßen einzuschmelzen. Es geschieht dies leicht, indem man in einem, aus feuerfestem Material (Kalk oder Magnesia) bestehenden Ofen die Gefäße direkt mit einer großen Knallgasflamme erhitzt und die Temperatur mittels Thermoelemente kontrolliert, die aus Iridium und einer Legierung von 90 % Iridium + 10 % Ruthen bestehen. Das erhaltene Produkt enthält nur größere einzelne Luftblasen, da der Bergkristall zunächst in kleine Stücke zerspringt und

Das Nieder-
schmelzen von
Bergkristall

1) Den in diesem Vortrag angegebenen hohen Temperaturen liegt die Annahme zugrunde, daß Platin bei 1775 ° C. schmilzt.

die zwischenliegenden Luftmengen zum Teil mit eingeschlossen werden, ist aber im übrigen vollkommen klar und durchsichtig. Der Versuch, durch lange andauerndes Erhalten im geschmolzenen Zustand die Luftblasen zum Aufsteigen zu bringen, verspricht wenig Erfolg, da das Quarzglas sehr zähe ist und eigentliche Dünflüssigkeit erst bei einer Temperatur erreicht, bei welcher es gleichzeitig lebhaft verdampft. An sich würde die Erreichung und Erhaltung dieser Temperatur auf lange Zeit keine besonderen Schwierigkeiten mehr bieten, seitdem wir beliebig große Rohre aus reinem Iridium herstellen können, welche elektrisch auf dem Schmelzpunkt dieses Metalles naheliegende Temperaturen, 2300°C. , für beliebig lange Zeit gebracht werden können.

Was nun weiter das Formen des so erhaltenen Glases zu Formgebung-
Hohlkörpern irgendwelcher Art betrifft, so wissen wir aus den Mitteilungen Shenstones, eine wie mühsame Arbeit der Aufbau kleiner Hohlkörper aus kleinen Stückchen geschmolzenen Quarzes war, deren allmähliche Vergrößerung wieder nur durch sukzessives Auftragen weiterer kleiner Mengen erfolgen konnte. Auf diese Weise zu einer eigentlichen Fabrikation beliebiger Gefäße zu gelangen, schien von vornherein aussichtslos. Es gelang unter Mitwirkung des Herrn Kühn, wenigstens Hohlkugeln von etwa 50 ccm Inhalt aus einem einzigen Stück Quarzglas auf einmal aufzublasen, und durch Zusammensetzen solcher Kugeln gelingt es der bewundernswerten Geschicklichkeit dieses Herrn, Gefäße, wie die hier befindlichen, herzustellen. Freilich, mühsam und aufs höchste anstrengend ist die Ausübung dieser Kunst auch heute noch. Das Getöse der großen Knallgasgebläse erfordert starke Nerven und das Arbeiten in nächster Nähe der Temperaturen von 2000°C. große Hingabe des Kunstlers an seine Aufgabe, selbst wenn sie von so schönen Erfolgen gekrönt ist wie hier.

Bei hohen Temperaturen sind alle Oxyde dem Quarzglas gefährlich. Es ergibt sich daraus unter anderem die Notwendigkeit, Gefäße aus Quarzglas, welche bei hohen Temperaturen gebraucht werden sollen, sehr sorgfältig zu reinigen und dann nicht mehr mit den Fingern zu berühren, da die Schweißteilchen bei hohen Temperaturen durch ihren Alkaligehalt zur Bildung von unentfernbaren Flecken von Alkalisilikat Anlaß geben. Wenn man ein Quarzglasrohr frei im Innern eines elektrisch heizbaren Porzellanrohres 2 bis 3 Stunden auf etwa 1300°C. erhitzt hat und es dann aus dem Ofen herausnimmt, so ist es zunächst vollkommen klar und durchsichtig. Mit der Lupe erkennt man allerdings schon, daß

Empfindlichkeit
des Quarzglases.
Metalloxyden
gegenüber.

irgendeine Veränderung der Oberfläche vor sich gegangen ist. Wenn sich das Röhrchen dann so weit gekühlt hat, daß man es zur Not schon mit der Hand anfassen kann, so wird plötzlich die ganze Oberfläche trüb und undurchsichtig. Ich glaubte anfangs, daß es sich hier um eine Entglasung der amorphen Kieselsäure selbst handle. Die Überlegung indes, daß die Erscheinung nur eine oberflächliche ist, und auch auf der inneren Fläche des geschlossenen Quarzglasrohres nicht eintritt, ließ mich vermuten, daß es sich um eine minimale Verunreinigung der Oberfläche des Rohres, etwa durch verbrannte Staubteilchen, deren Asche bei der hohen Temperatur mit dem Quarzglas zusammenschmolz, handle, so daß also die Entglasung keine solche des Quarzglases, sondern eines hauchdünnen Silikatschmelzflusses vorstelle. Ich habe dann ein Quarzglasrohr in ein geschlossenes Platinrohr gesteckt und in gleicher Weise wie oben behandelt, und die Entglasung blieb tatsächlich aus.

Bei hohen Temperaturen wird das Glas ferner von Phosphorsäure angegriffen, indem sie nach einer Mitteilung von Professor Mylius kristallisierte Kieselphosphorsaure bildet. Dieser Angriff geschieht auch beim Glühen der phosphorsauren Ammoniakmagnesia bei Phosphorsäurebestimmungen.

Auf dieses Verhalten ist beim Arbeiten mit TiegeIn aus Quarzglas Rücksicht zu nehmen, welche im übrigen ihrer Durchsichtigkeit und Unempfindlichkeit gegen Temperaturwechsel wegen für Laboratoriumsarbeiten so außerordentlich vorteilhaft sind.

Verhalten
von Quarzglas
zu Metallen

Von oxydfreien Metallen wird das Quarzglas auch bei der höchsten in Betracht kommenden Temperatur nicht angegriffen. So z. B. blieben bei den von Krafft¹⁾ im Vakuum der Quarzglasgefäße ausgeführten Siedepunktuntersuchungen mit Wismut, Antimon, Zink und Blei die Gefäße gänzlich unversehrt. (Allerdings gelangte A. Schuller²⁾ bei ähnlichen Versuchen zur entgegengesetzten Ansicht.)

1) F. Krafft, „Das Verdampfen und Sieden der Metalle (*Zn, Cd, Se, Te, Pb, Sn, Sb, Bi, Ag, Cu, Au*) in Quarzglas und im elektrischen Ofen bei Vakuum des Kathodenlichtes“, ausgeführt im Laboratorium von W. C. Heraeus und mit Unterstützung von Haagn und Kuch Ber. d. Deutsch. chem. Ges. 1903, S. 1690.

2) A. Schuller (Zeitschr. f. anorg. Chemie 1903, Bd. 37, S. 69) weist dagegen darauf hin, daß die Metalle die innere Oberfläche der Quarzglasgefäße stark angreifen. Er destillierte (ebenfalls unter Vakuum) *Ag, Cu, Au, Sn, NaCl, PbS, Ag₂S*.

Villard¹⁾ und Chappuis haben eine schwache Durchlässigkeit des Quarzglas gegenüber Wasserstoff bei hoher Temperatur festgestellt. Sie ist indessen viel geringer, als bei Platin und tritt anscheinend auch erst bei höherer Temperatur, als bei diesem, auf. Es will fast scheinen, als ob die Durchlässigkeit merkbare Werte erst in dem Erweichungsgebiet des Quarzglas erreicht²⁾.

Gasdurchlässigkeit des Quarzglas

Die Umwandlung des Bergkristalles in den glasigen Zustand geschieht bei etwa 1700° C. Der Erweichungspunkt des Glases ist naturgemäß nicht genau festzulegen, da der Übergang wie bei allen Gläsern ein ganz kontinuierlicher ist. So viel ist nur zu sagen, daß man bei 1350° C. noch einigermaßen starkwandige Gefäße, in denen Vakuum herrscht, stundenlang benutzen kann, ohne daß sie sich deformieren, und daß das Glas bei 1500° C. schon merkbar plastisch ist. Die Temperatur, bei welcher die Herstellung der Gefäße geschieht, schätze ich auf über 2000° C. Dabei durfte die Temperatur, auf welche das Glas im Gebläse selbst erhitzt wird, noch wesentlich höher, etwa bei Iridiumschmelzhitze (2300 bis 2400° C.) liegen. Bei dieser Temperatur verdampft die Kieselsäure sehr stark; der Dampf kondensiert sich zu einem weißen flockigen Mehl. Es konnte festgestellt werden, daß bei intensivem Arbeiten vor einem Gebläse in der Stunde etwa 20 g Kieselsäure verdampfen.

Verhalten des Quarzglas in hohen Temperaturen

Auch Heraeus bestätigt die Wahrnehmung Shenstones, daß bei Herstellung von Hohlgefäßen aus Quarzglas an der Arbeitsstelle ein deutlicher Geruch nach Stickstoffoxyden sich bemerkbar macht und daß jedes geblasene Gefäß merkbare Mengen davon enthält. In optischer Beziehung ist das Quarzglas insofern

1) Villard, Sur la permeabilité de la silice fondue par l'hydrogène. Compt. rend., Bd. 130, S 1752.

2) M. Berthelot beobachtete bei seinen Untersuchungen über die Gasdurchlässigkeit der Rohrwandungen aus verschiedenen Glasarten, Porzellan und Quarzglas (Compt. rend de l'Acad., Bd. 140, S. 821, 1159 und 1286, sowie diese Schrift S. 217), daß bei 1300° H_2 , N_2 und O_2 durch Quarz diffundieren, CO_2 und HCl dagegen nicht. Die Durchlässigkeit des Quarzglas für Stickstoff und Sauerstoff verhält sich wie die Löslichkeit dieser Gase im Wasser. Als ein mit Methan gefülltes Quarzglasrohr $\frac{1}{2}$ Stunde lang auf 1100° erhitzt wurde, fand sich darin freier Kohlenstoff, als aber die Erwärmung auf 1300° während 1 Stunde fortgesetzt wurde, bestand der Inhalt aus N_2 , wenig O_2 und CO_2 . Die Luft wanderte also ein und die entstandenen Kohlenoxyde, wenn nicht gar der freie Kohlenstoff, diffundierten.

bemerkenswert, als es für den ultravioletten Teil des Spektrums vollkommen durchlässig ist. Aus diesem Grunde dürften unter anderem Vakuumröhren aus Quarzglas für manche Untersuchungen interessante Resultate geben. Es können Vakuumröhren beliebiger Form hergestellt und mit metallischen Zuleitungen¹⁾ versehen werden, die aus eingeschmolzenen Iridiumdrähten bestehen und allerdings noch der Nachdichtung mit Siegelack oder dergl. bedürfen.

Läßt man durch eine evakuierte Röhre aus Quarzglas die Entladungen eines Induktoriums gehen, so verbreitet sich alsbald ein deutlicher Geruch nach Ozon. Wir stellten ferner eine Aronssche Quecksilberlampe²⁾ aus Quarzglas her. Setzt man diese in Gang, so geht die Bildung von Ozon in solcher Menge vor sich, daß längerer Aufenthalt in der Nähe der Röhre unmöglich wird, so stark werden die Schleimhäute gereizt.

Es kann nicht zweifelhaft sein, daß wir ein äußerst wertvolles Material vor uns haben, zunächst für wissenschaftliche Apparate. In erster Linie werden infolge der Durchsichtigkeit und Beständigkeit in hohen Temperaturen abspielende Prozesse der Beobachtung in ganz anderer und viel vollkommener Weise zugänglich als bisher. Die Unempfindlichkeit gegen Temperaturwechsel erlaubt dabei schnelle und lokale Abkühlungen an den kompliziertesten Apparaten, ohne daß diese im geringsten Schaden erleiden.

Hier wird es zweckmäßig sein, auch kurz die Preisfrage zu berühren. Die Herstellungskosten sind leider außerordentlich hohe, und darauf ist es allein zurückzuführen, daß die Apparate nicht billiger geliefert werden können. Die Preise sind ja sehr hoch, wenn man sie mit denjenigen von Glasapparaten vergleicht. Dieser Vergleich, den ja das Aussehen der Gefäße herausfordert, ist aber innerlich sehr ungerechtfertigt. Wenn es auch im Laufe der Zeit gelingen sollte, namentlich durch Verbilligung der Sauerstoffherstellung, die Preise etwas zu ermaßen, so wird man doch, soweit das heute zu überblicken ist, niemals darauf rechnen können, die Preise, wenn ich so sagen darf, in eine andere Größenordnung überzuführen³⁾. Quarzglas wird immer etwas kostbares bleiben, und die Glasindustrie hat darin keinen Konkurrenten zu befürchten.“

1) Über Einführung von Elektroden vergl. die im weiteren wieder-gegebene Mitteilung von Elster und Geitel.

2) Vergl. den Abschnitt über Quecksilberdampflampen.

3) Ende 1907, also fast fünf Jahre nach diesem Vortrag, kostete 1 kg Quarzglas etwa 1000 Mk., wogegen 1 kg Jenaer Geräteglas im Detailhandel sich auf 5 bis 10 Mk. stellt.

Einer Mitteilung von F. Krüger¹⁾ über die Herstellung des Quarzglas-thermometer mit Quecksilberfüllung. Quarzglas-thermometer mit Quecksilberfüllung.
 Quarzglases, die im wesentlichen sich auf die Wiedergabe des Vortrages von Heraeus beschränkt, sei die folgende Notiz über Quarzglas-thermometer mit Quecksilberfüllung entnommen. Es wurden zunächst Einschlußthermometer bis 580 °C. hergestellt, die mit Stickstoff von 20 Atmosphären Druck gefüllt waren. Nach mehrmaligem Erhitzen war kein Anstieg des Quecksilbers zu bemerken. Mit Quecksilber und Stickstoff von 60 Atmosphären gefüllte Thermometer gestatten Temperaturen bis 720 °C. zu messen, sie zeigen sich den bisherigen hochgradigen Thermometern aus Jenaer Borsilikatglas in mancher Beziehung überlegen. Die Skala besteht aus Nickelstahl. Die Länge des Thermometers beträgt etwa 35 cm, sie haben eine Teilung von in $\frac{5}{1}$ °C., von 300 bis 750 °C.

Nach Bestimmungen von L. Holborn und F. Henning²⁾ Wärmeausdehnung des Quarzglas von Heraeus (Holborn, Henning, Scheel).
 beträgt die gesamte Ausdehnung von Quarzglas, gemessen an einem von Heraeus gelieferten Quarzstab von 0,52 m Länge, 2,9 mm Durchmesser und 7,72 g Gewicht von 0 auf 1000 °C. erhitzt — 0,262 mm. Die Ausdehnung der Längeneinheit pro 1 °C. zwischen 0 und 1000 °C. beträgt im Mittel 0,00000054.

In einzelnen Intervallen ergaben die Messungen:

	beobachtet	berechnet
bis 250 °C.	0,059 mm	0,0655 mm
500 ° "	0,136 "	0,1310 "
750 ° "	0,198 "	0,1965 "
1000 ° "	0,262 "	0,2620 "

Im Anschluß an diese Bestimmungen wies K. Scheel³⁾ darauf hin, daß entgegen dem, was man aus den Beobachtungen aus den größeren Temperaturintervallen und bei höheren Temperaturen erwarten sollte, in dem Intervall zwischen 15 und 100 °C. die Ausdehnung des amorphen Quarzes eine starke Krümmung aufweist. Sie ist von derselben Größenordnung, wie bei Metallen, und hat nahezu denselben Betrag wie Platin, während der lineare Teil der Ausdehnung nur wenig mehr als $\frac{1}{30}$ des gleichen Gliedes bei Platin beträgt.

Wie M. Herschkowitsch⁴⁾ in seiner Abhandlung: „Über die Umwandlung des Bergkristalles in den amorphen Zustand“ mit- den Zeiß-Abbe-Schottschen Werken. Quarzglas-schmelzerei in den Zeiß-Abbe-Schottschen Werken.

1) Physik. Zeitschr. 1904, S. 391.

2) Ann. d. Physik 1903 (4), Bd. 10, S. 446.

3) Verhandlungen der Physikalischen Gesellschaft 1903, Bd. 5, S. 119.

4) Zeitschr. f. physik. Chemie 1903, Bd. 46, S. 408.

teilt, erkannte Ernst Abbe bereits vor 30 Jahren die Bedeutung des amorphen Quarzes für die Optik für den Fall, daß es gelinge, das Material in größeren und vollständig blasen- und spannungsfreien Stücken zu erhalten. Die hierauf zielenden, von Abbe in Gemeinschaft mit O. Schott, in den 80er Jahren angestellten Versuche blieben erfolglos. Dann stellte A. Brun (1890) in Genf, zum Teil von dem Jenaer Institut unterstützt, ebenfalls Versuche in dieser Richtung an, ohne jedoch daß es ihm gelang, brauchbare Quarzstücke herzustellen. Aus den von Brun erstatteten Berichten konnte man jedoch die Überzeugung gewinnen, daß unter geeigneten, wenn auch damals noch nicht erkannten Bedingungen die Herstellung für die Optik brauchbaren Quarzes wohl möglich sein würde.

Die von Herschkowitsch hergestellten und von dem Zeiß-Abbe-Schottischen Institut in Paris (1900) ausgestellten drei Platten geschmolzenen Bergkristalles waren optisch vollständig homogen und hatten einen Durchmesser von etwa 40 mm bei einer Dicke von 10 mm. Die Nutzbarmachung des geschmolzenen Bergkristalles für die Optik ist somit erreicht¹⁾ worden; allerdings blieb sie noch insofern beschränkt, daß Stücke über eine gewisse GröÙe hinaus, noch nicht mit Sicherheit hergestellt werden können.

Arbeitsweise
von
Herschkowitsch.

Seine Arbeitsweise beschreibt Herschkowitsch wie folgt: „Nachdem man sich überzeugt hat, daß die Bergkristallstücke zum Umschmelzen geeignet sind, d. h. keine Risse, Einschlüsse usw. aufweisen, werden sie in Kohlentiegel von geeigneter GröÙe gebracht und langsam in der Muffel bis auf etwa 500⁰ C. erwärmt und dann möglichst rasch in den inzwischen auf Weißglut erhitzten elektrischen Ofen gebracht, der mit einer Stromstärke von 40 bis 50 Amp. bei 110 Volt 1 bis 2 Stunden weiter gespeist wurde, je nach der Beschaffenheit des Ofens, d. h. je nachdem die Wandung desselben mehr oder minder glatt ist, die Fugen mehr oder minder zahlreich sind, und, was noch wichtiger ist, ob der Deckel des Ofens zweckmäßig ist.

Die plötzliche Versetzung des Quarzes aus der Muffel in den weißglühenden Ofen hat einerseits den Zweck, den Zustand der Spannung auf die kleinstmögliche Zeitdauer zu beschränken. Andererseits aber gestalten sich die Spannungsverhältnisse erheblich günstiger, wie die folgende Überlegung zeigt. Denken wir uns ein Plättchen aus natürlichem Bergkristall, das langsam durch die ganze

¹⁾ Z. B. für Photometer nach Straubel. Zeitschr. f. Instrumentenkunde 1903. S. 200.

Masse bis unter 570° C. erwärmt ist; das Ganze befindet sich also im Gleichgewicht. Wird nun das Plättchen gleichmäßig weiter erwärmt, so überschreitet zunächst die äußerste Schicht diese Temperatur, während das Innere des Plättchens unterhalb dieser Temperatur sich befindet. Infolgedessen wird die äußerste Schicht durch den bei dieser Temperatur erfolgten sprungweisen Zuwachs des Ausdehnungskoeffizienten (vergl. die Kurven von Le Chatelier, S. 278) bestrebt sein, einen größeren Flächenraum einzunehmen, wird aber darin durch die innere Masse des Plättchens, den Kern, gehindert sein. Die äußere Schicht wird also durch die innere zusammengepreßt, die innere aber von der äußeren auf Zug in Anspruch genommen. Dringt nun die Erwärmung langsam in die Masse des Plättchens ein, ohne daß die Temperatur des Ganzen wesentlich steigt, so nehmen die Zugkräfte zu, die Druckkräfte ab, und übersteigt die Differenz der Kräfte die Zugfestigkeit des Materials, so ist ein Springen des Plättchens unausbleiblich. Bringt man dagegen das Plättchen in den weißglühenden Ofen, so erfolgt in dem Maße, wie das Erwärmen auf die ‚kritische Temperatur‘ von 570° C. nach innen vor sich geht, ein Erweichen der äußersten Schichten; mit anderen Worten: indem der innere auf Zug beanspruchte Kern schwächer wird, nehmen auch die Zugkräfte der äußeren Schicht ab, die Gefahr des Springens wird vermindert “

Die beim Erhitzen des Bergkristalles gewissermaßen als Übergangsprodukt entstehende weiße porzellanartige Masse ist nach Herschkowitsch ein inniges Gemisch von natürlichem und amorphem Quarz. Im polarisierten Lichte unter dem Mikroskop sieht man verschieden orientierte Kristallbruchstücke mit Partikelchen aus amorphem Quarz vermenget. Das spezifische Gewicht des Bergkristalles beträgt 2,651, des amorphen (geschmolzenen) Quarzes¹⁾ 2,204 und des porzellanartigen 2,330.

Dichte
verschiedener
Quarz-
modifikationen.

Die Neigung des geschmolzenen Quarzes, in den kristallinen Zustand zurückzukehren, tritt aus folgenden von Herschkowitsch angestellten Versuchen deutlich hervor: amorpher Quarz, im Platintiegel über einer Gebläseflamme erhitzt, wird langsam milchig, und zwar von der Peripherie nach innen zu; ein etwa 8 mm dickes Stück geschmolzenen Quarzes wurde nach achtstündigem Glühen im Platintiegel in einer, bis 3 mm starken Schicht vollständig porzellanartig, die die

Entglasung des
Quarzglas.

1) P. Chappuis, Verhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft in Basel, Bd. 16, S. 173. Das untersuchte Stück muß wohl blasenreich gewesen sein, denn nach Bestimmungen von Day u. a. (S. 296) ist die Dichte 2,313.

Doppelbrechung deutlich erkennen ließ. Bei einem anderen Versuch befanden sich im Platintiegel ein Plättchen geschmolzenen Quarzes, ein erbsengroßes Stück porzellanartigen Quarzes und mehrere kleine Stückchen klaren Bergkristalles. Während nach 5 Stunden das 2 mm dicke Plättchen amorphen Quarzes vollständig opak wurde, unter gleichzeitiger Steigerung seines spezifischen Gewichtes, blieben die Körnchen natürlichen Bergkristalles, auch nach 15 Stunden heftigen Glühens, ganz unverändert; das gleich am Anfang milchig gewesene Stück erlitt äußerlich keine Änderung, sein spezifisches Gewicht aber steigerte sich merklich. Über die physikalischen Eigenschaften des geschmolzenen Quarzes macht Herschkowitsch auf Grund der an optisch homogenen Stücken ausgeführten Bestimmungen noch folgende Angaben:

Elastizität und
Härte des
Jenaer Quarz-
glases

„Die Elastizität und Härte des amorphen Quarzes ist geringer, als der geringste ihrer Werte für den natürlichen Bergkristall (Auerbach¹⁾). In absoluten Zahlen beträgt die Härte des Bergkristalles \parallel zur Achse 308 kg/qmm, \perp zur Achse 230 kg/qmm und die des amorphen Quarzes nur 223 kg/qmm. Die entsprechenden Zahlenwerte der Elastizität sind 10620, 8566 und 6970 kg/qmm.

Lichtbrechung
und Dispersion

Die Brechungsexponenten des amorphen Quarzes sind kleiner, als die kleinsten ihrer Werte für den natürlichen Bergkristall, so beträgt nach F. Kohlrausch²⁾ der Brechungsexponent der *D*-Linie für den ordentlichen Strahl 1,5436, für den außerordentlichen 1,5531, während der Index des amorphen Quarzes nach Bestimmungen von Riedel nur 1,45848 beträgt. Hier seien noch die anderen von Riedel (Jena) ermittelten Werte angeführt³⁾.

Fraunhofersche Linie	Brechungsexponenten	Dispersion
<i>A</i>	1,45397	$A - D = 0,00451$
<i>C</i>	1,45645	$C - D = 0,00203$
<i>D</i>	1,45848	
<i>F</i>	1,46322	$D - F = 0,00474$
<i>G</i>	1,46697	$F - G = 0,00375$

Die relative Dispersion ν beträgt 67,8.

Lichtdurch-
lässigkeit.

Die Durchlässigkeit des amorphen Quarzes für die am stärksten brechbaren ultravioletten Strahlen ist geringer, als die des natür-

1) F. Auerbach, Ann. d. Physik 1900, Bd. 3, S. 116.

2) Landolt und Börnstein, Tabellen (Verlag von Springer).

3) Heraeus erwähnt in seinem Vortrag, daß die von E. Abbe an dem durch Heraeus hergestellten Quarzglas angestellten Messungen den Brechungsindex für *D* 1,4585, die Dispersion von $C - F$ 0,00676 ergaben.

lichen Quarzes. Dagegen läßt er, wie die Untersuchungen von V. Schumann (Leipzig) ergaben, alle Strahlen, die auf gewöhnliche (photographische) Handelsplatten kräftig wirken, d. i. bis $\lambda 220 \mu\mu$, in relativ hohem Maße durch. Die Strahlen von $193 \mu\mu$ und abwärts werden vollständig absorbiert¹⁾. Das Absorptionsergebnis für ein 10,9 mm dickes Plättchen aus amorphem Quarz ist wie folgt²⁾ (die Exemplare aus verschiedenen Schmelzen zeigten in bezug auf die Durchlässigkeit für ultraviolettes Licht einige, wenn auch unbedeutende, Verschiedenheit):

$\lambda 361 \mu\mu$	amorphen Quarz	20 Sekunden	=	18 bis 19 Sekunden	Luft,
$\lambda 275 \mu\mu$	"	" 20	"	= 16 "	17 " "
$\lambda 257 \mu\mu$	"	" 20	"	= 15 "	16 " "
$\lambda 231 \mu\mu$	"	" 20	"	= 12 "	13 " "
$\lambda 214 \mu\mu$	"	" 20	"	= 11 "	12 " "
$\lambda 199 \mu\mu$	"	" 180	"	= 1 "	2 " "

Ähnliche Untersuchungen stellte F. A. Schulze³⁾ an einem von der Firma Dr. Siebert & Kühn in Kassel gelieferten Stab aus amorphem Glas von etwa 10 cm Länge, 1 cm Breite und 2,72 mm Dicke an, um einige Konstanten zu bestimmen, deren Kenntnis nach Ansicht von F. Richarz⁴⁾ zur Aufklärung über die Widerstandsfähigkeit des amorphen Quarzes schroffen Temperaturwechseln gegenüber beitragen könnte.

Physikalische
Messungen am
Quarzglas von
Heraeus
(Schulze).

Der Versuchsstab enthielt nur sehr wenige, ganz kleine Luftbläschen; das spezifische Gewicht betrug 2,22.

Der Elastizitätsmodul wurde von Schulze mittels der Methode der Anwendung von Biegungs- und Torsionstönen bestimmt und der Wert $E = 6,238 \text{ kg/qmm}$ gefunden. Das Verhältnis μ zwischen Querkontraktion zur Längsausdehnung berechnete Schulze $\mu = 0,260$.

Der von F. Auerbach⁵⁾ nach einer anderen Methode der elastischen Eindringung gefundene Wert für den Elastizitätsmodul E ist 7260 kg/qmm . Die beiden Werte entsprechen der Größenordnung nach dem durchschnittlichen Wert der Elastizitätskonstante für Glas $E = 6500$.

1) Nach Angaben von Heraeus über seine Quarzglas-Quecksilberlampen läßt das Quarzglas noch Strahlen bis zu 185μ durch.

2) Vergl. außerdem H. Trommsdorf, Die Dispersion usw., Inaugural-Dissertation, Jena 1901.

3) Ann. d. Physik 1904, Bd. 14, S. 384.

4) Sitzungsberichte d. Marburger naturwissenschaftl. Ges. 1903, S. 85.

5) Ann. d. Physik 1900, Bd. 3, S. 116.

Zur Bestimmung der Biegezugfestigkeit legte Schulze den Stab mit den Enden auf zwei Stahlschneiden und belastete denselben in der Mitte durch allmähliche Vermehrung der Gewichte, bis der Stab bei einer Belastung von 6271 g und Schneideabstand von 54,2 mm brach (gerade in der Mitte). Die maximale Spannung, die eben noch ausgehalten wurde, stellt sich auf 6,89 kg/qmm.

Nach Bestimmungen von von Kowalski¹⁾ beträgt die Maximalspannung für Glas zwischen 8,520 und 8,987 kg/qmm. Schulze läßt die Möglichkeit zu, daß ganz blasenfreier amorpher Quarz einen etwas höheren, als den von ihm gefundenen Wert haben kann.

Der von Schulze bestimmte Brechungsindex für Natriumlicht betrug $n_D = 1,4550$ bei $21,9^\circ \text{C}$. in guter Übereinstimmung mit dem von Dufet gefundenen Wert $n_D = 1,4588$ bei 20°C .

Der Stab zeigte an keiner Stelle eine Spur von Doppelbrechung. Die Dielektrizitätskonstante, welche an demselben Stab gemessen wurde, betrug 3,20.

Schmelz-
temperatur des
Quarzes nach
Day, Allen,
Shepherd, White
und Wright

Da für die Schmelztemperatur von Kieselerde sehr weit auseinander gehende Angaben von 1200 bis 2000 $^\circ \text{C}$. vorliegen, sahen sich Arthur Day, E. Allen, E. Shepherd, W. White und F. Wright gelegentlich ihrer bereits erwähnten Arbeiten über die Kalkkieselreihe der Minerale²⁾ veranlaßt, sich hierüber Klarheit zu verschaffen. Bei der äußerst zähen Beschaffenheit der entstehenden Schmelze erwiesen sich die Versuche, den Schmelzpunkt des Siliziumdioxides durch Beobachtung des Erweichens der Probe zu bestimmen, völlig irreführend. Die Zerstörung der Molekularstruktur vollzieht sich sehr langsam und erstreckt sich über ein beträchtliches Temperaturintervall. Diese Temperatur ist so hoch, daß sie mit Thermoelementen nicht verfolgt werden kann, und leider hat man keine andere genügend empfindliche Methode, um den Schmelzpunkt durch Messung der während langsamer Schmelzung absorbierten Wärme festzulegen. Bestimmungen des Erstarrungspunktes kommen wegen der Trägheit der zähen Schmelze nicht in Betracht.

Eine ungefähre Bestimmung des Schmelzpunktes wurde so ausgeführt: 1 bis 2 g fein gepulverten Quarzes wurden in einen kleinen Iridiumtiegel gebracht und in einem Iridiumröhrenofen (Fig. 29 auf S. 79) erhitzt. Die Erfahrung lehrt, daß Schmelz- und

1) von Kowalski, Ann d. Physik 1889, Bd. 36, S. 307.

2) Tschermaks Mineralogische und petrographische Mitteilungen 1907, Bd. 26, Heft 3. Vergl. S. 38 dieser Schrift.

Umwandlungserscheinungen viel leichter bei feiner Verteilung des Materials vor sich gehen. Ein dünnes Fragment von Platinfolie wurde oben auf die Probe gelegt und der Ofen erhitzt, bis das Blättchen schmolz. Nachdem die Probe aus dem Ofen entfernt und abgekühlt wurde, wurden durch mikroskopische Prüfung Anzeichen von Schmelzung durch die ganze Masse nachgewiesen. Die Kristallkörnchen hatten sich in Tridymit umgewandelt, und die oberflächliche Verflüssigung hatte ein dichtes Zusammensintern bewirkt, aber eine Verschiebung der Körnchen hatte nicht stattgefunden. Bei der Schmelztemperatur des Platins (1720°) zeigt somit Kieselerde positive Anzeichen von Schmelzung. Andere ähnliche Proben wurden sodann hergestellt und der Versuch wiederholt mit längerer Dauer und bei Temperaturen etwas unter dem Schmelzpunkte des Platins. Auf diese Weise wurde schließlich die Temperatur des Schmelzens bei 1625° C.¹⁾ festgelegt.

Bei mäßig rascher Erhitzung bleibt der kristalline Körper weit über dem Schmelzpunkt bestehen; bei genügend langsamer tritt vollständige Verflüssigung bei 1625° oder selbst noch tiefer ein. Die Annahme, daß reine Kieselsubstanz ungefähr bei 1600° zu schmelzen beginnt, dürfte ziemlich richtig sein. Über diesen Punkt erfolgt das Schmelzen um so rascher, je höher die Temperatur steigt. Eine Probe von Quarz wurde in einem Platinofen bei 1555° lange Zeit erhitzt, ohne eine Spur einer Schmelzung zu erleiden.

Es ist wiederholt beobachtet worden, daß Quarzglas nach langem Gebrauch entglast wird, und, wie bereits Hahn²⁾ festgestellt hat, besteht die Kristallbildung aus Tridymit. Day und seine Mitarbeiter unternahmen nun, die Beziehungen zwischen Quarz, Quarzglas und Tridymit näher zu verfolgen, und gelangten hierbei zu folgenden Ergebnissen. Die Umwandlung von fein geriebenem Quarz in Tridymit beginnt oberhalb 1000° , ganze Quarzkristalle zeigten dagegen keinerlei Veränderungen nach sechsständigem Erhitzen bei 1400° , wogegen gepulverter Quarz bei dieser Temperatur nach wenigen Stunden vollständig in Tridymit verwandelt wurde. Andererseits, wenn fein verteilte amorphe Kieselerde, z. B. Quarzglas oder besser gefällte Kieselsäure, für kurze Zeit über 1000°

Beziehungen
zwischen Quarz,
Quarzglas und
Tridymit

1) Da der Iridiumofen für lang andauernde Erhitzung ungeeignet ist und der Platindrahtofen (Fig. 27, S. 77) diese Temperatur nicht erreicht, so mußten die Bemühungen aufgegeben werden, eine definitive Temperatur zu finden, unterhalb welcher der feste Körper stabil ist, und oberhalb welcher er bei genügend langer Dauer der Erhitzung schmilzt.

2) Verhandl. d. Kongr. f. angew. Chemie, Berlin 1904, Bd. 1, S. 714.

erhitzt wurde, erfolgte prompt die Umwandlung in Tridymit, sehr rasch bei gefällter Kieselsäure, viel langsamer beim Quarzglas. Irgendwelche Unterschiede in den optischen Eigenschaften zwischen dem aus Quarz erhaltenen Tridymit und dem aus Quarzglas herrührenden konnten nicht beobachtet werden. Wenn auch die Geschwindigkeit der Umwandlung durch die Feinheit des Pulvers stark beeinträchtigt wird, so ist keine Schwierigkeit vorhanden, große Stücke von Quarzglas bei den höheren Temperaturen zum Kristallisieren zu bringen. Dies wird durch Berührung mit Fremdkörpern (Karbtorund, Graphit) noch wesentlich befördert.

Die Dichte¹⁾ des gereinigten natürlichen Quarzes, bei dem die Verunreinigungen nicht mehr als 0,1 % betragen, ist zu 2,654, die des Quarzglases zu 2,313 gefunden worden. Die Dichte des Tridymits erwies sich verschieden, je nachdem, ob das Präparat aus Quarz oder aus Quarzglas erhalten wurde. Die Dichte des Tridymits aus Quarz war 2,326 und die des aus Quarzglas herrührenden Präparates 2,317 bis 2,318 (vergl. hierüber S. 291).

Bläschenfreies
Quarzglas von
Day und
Shepherd.

Die Bedeutung, die Quarzglasgerätschaften dank ihrer Schwer- schmelzbarkeit, Widerstandsfähigkeit gegen schroffen Temperatur- wechsel und Durchlässigkeit für die chemisch so wirksamen ultra- violetten Strahlen für das Laboratorium erlangen würden, falls eine leichte Herstellungsart derselben ausfindig gemacht werden könnte, veranlaßte Arthur Day²⁾ und E. Shepherd, mit den Hilfsmitteln der Carnegie Institution einige Versuche in dieser Richtung anzu- stellen. Es ist bekanntlich nicht schwer, durch Schmelzen von reiner, kristallisierter Kieselerde, sei es Quarz oder Tridymit, in Graphittiegeln Quarzglas zu erhalten, und die Schwierigkeit liegt nur darin, daß das Quarzglas blasenfrei sein muß. Nach einer Reihe von Schmelzversuchen bei verschiedenen Temperaturen sahen Day und Shepherd ein, daß es wohl kaum gelingen dürfte, blasenfreies Quarzglas zu erhalten, solange man bei gewöhnlichem Atmosphärendruck arbeitet, und sie entschlossen sich daher, den Einfluß des Druckes auf schmelzende Kieselsäure zu prüfen.

Die weiteren Versuche wurden daher in einem „Bombenofen“ unter einem Luftdruck von etwa 35 Atmosphären ausgeführt, indem der Quarz in einem mittels niedrigvoltigen Wechselstroms erhitzten Graphitkasten sich befand. Die Temperatur wurde von Anfang an viel höher gehalten, als es zum Schmelzen nötig war, in der Ab-

1) Bei 25° C. und unter Annahme, daß H_2O bei 25° = 1.

2) „Quartz-glass“, Science N. S., Vol. 23, 1906, S. 670.

sicht, daß hierdurch die Viskosität der Schmelze sich genügend verringern wird, um das Entweichen der eingeschlossenen Gasbläschen zu gestatten. Allein dieser Versuch mißlang völlig. Die Viskosität blieb trotz der höheren Temperatur fast die gleiche, und dazu fand noch eine Reduktion der Kieselsäure zu Silizium statt, das die Schmelze ganz mißfarbig machte. Das Aussehen der erkalteten Schmelze verriet, daß die großen, mit Silizium überzogenen Gasblasen ihren Ursprung dort nahmen, wo die Berührungsstellen zwischen der Schmelze und dem Graphit am heißesten waren. Es steht also fest, daß durch die Einhaltung einer Temperatur von etwa 2500° man nicht nur die Gasbläschen nicht los wird, sondern noch einen neuen störenden Faktor hinzubekommt.

Daraufhin wurde versucht, bei weniger hoher Temperatur die Schmelzoperation in die Länge zu ziehen. Man erhielt zwar gut durchsichtige, aber mit einer Menge winziger Glasbläschen durchsetzte Quarzglasblöcke, und es gelang nicht, die Bläschen zu vertreiben, selbst durch viele Stunden andauernde Erhitzung. Aber weder die bei dem vorgehenden Versuche beobachteten großen Glasblasen, noch eine Mißfärbung traten auf. Nun wurden die Bestrebungen daraufhin gerichtet, den Quarz schon vor dem Beginn der Erhitzung dem hohen Drucke auszusetzen und dann den Überdruck, wenn die Masse geschmolzen war, verschwinden zu lassen, so daß die eingeschlossenen Bläschen einen hohen inneren Überdruck haben mußten. Aber auch dies erwies sich als erfolglos, und das in dieser Weise aufgeblasene Material ging nicht in sich zusammen, wie es erwartet werden konnte.

Nach einer Reihe ähnlicher Versuche bei verschiedenen Temperaturen und Druckverhältnissen erhitzten Day und Shepherd den Quarz in ihrem Apparate, aber ohne Überdruck, rasch auf etwa 2000°. Nachdem eine lebhafte Kieselsäureverdampfung einsetzte, konnte man annehmen, daß der Kieselsäuredampf die Luftbläschen zwischen den Quarzkörnern in gleicher Weise vertreiben wird, wie z. B. Quecksilberdampf die Luft aus den Thermometerkapillaren vertreibt. Nun wurde der Apparat rasch unter Hochdruck gesetzt, um so die Schmelze zusammenzudrücken, und mit der Temperatur so weit heruntergegangen, daß eine Mißfärbung nicht mehr zu befürchten war. Nach $\frac{1}{2}$ Stunde wurde der Strom unterbrochen und der Überdruck allmählich verringert. Auf diese Weise wurden Quarzglasplatten von $7,6 \times 12,6 \times 1,2$ cm erhalten, die fast ganz blasenfrei waren. Die zurückgebliebenen Glasblasen waren sehr klein — höchstens 0,5 mm im Durchmesser und nicht

mehr als zwei bis drei Bläschen in 1 ccm —, so daß sie für den Gebrauch dieser Quarzglasplatten für Linsen, Spiegel und andere optische Zwecke nicht hinderlich sein können.

Schon ganz geringe Mengen von fremden Oxyden machen das Quarzglas fleckig, und wie Day und Shepherd feststellten, genügen schon weniger als 0,3 % fremder Oxyde, um das Glas undurchsichtig und mitunter ganz schwarz zu machen. Es ist daher unbedingt erforderlich, zum Schmelzen nur ganz reines, wenn auch nicht klar durchsichtiges Material zu verwenden, so z. B. eignet sich hierzu ganz gut trüber oder wolkiger Quarz, wenn er sonst ganz rein ist. Die Flüchtigkeit der Schmelze kann zweierlei Ursachen haben: entweder ist der Dampfdruck (Dampftension) der flüssigen Kieselerde in der Tat sehr groß, oder aber die Kieselsäure wird in Gegenwart von Kohlenstoff zu Silizium reduziert, das bei Verflüchtigung sofort wieder zu Siliziumdioxid verbrennt. Dieser letzte Vorgang spielt sich bei solch hohen Temperaturen sehr häufig ab, und darauf ist z. B. die Flüchtigkeit der Magnesia zurückzuführen.

Ob nun der zur Herstellung von gutem Quarzglas sich als unentbehrlich gezeigte Überdruck auf die Kieselsäuredämpfe einwirkt oder vielleicht die Reduktion der Kieselsäure zum Metall irgendwie beeinflußt, blieb bei diesen Versuchen unentschieden und ist übrigens für die Herstellung des Quarzglases ohne Belang. Möglich ist es auch, daß die beiden Reaktionen gleichzeitig stattfinden, und daß die angewendete Temperatur gerade an der Grenze zwischen derjenigen der Verflüchtigung und der der Reduktion der Kieselsäure liegt.

Eine weitere Folgerung aus den hier geschilderten Versuchen ist die, daß die im Quarzglas einmal eingeschlossene Luft weder durch noch so lange fortgesetzte Erhitzung, noch durch sehr hohe Temperatursteigerung ausgetrieben werden kann.

Day und Shepherd sind sich darüber klar, daß auch ihr Apparat noch recht verbesserungsfähig ist, und daß mit einem geeigneteren Ofen und größerem Kraftaufwande man viel größere Quarzglasplatten erzielen können. Jedenfalls muß folgender Gang der Arbeit eingehalten werden: Durch Erhitzen ohne Überdruck auf 2000° oder darüber wird eine genügend starke Kieselsäureverdampfung erzeugt, um die eingeschlossene Luft zu vertreiben, darauf folgt die Komprimierung bei mindestens 35 Atmosphären unter gleichzeitiger Verringerung der Temperatur auf etwa 1800°, bis die Quarzmasse Zeit findet, zusammenzufließen, und ohne daß dabei die Graphitwandungen angegriffen werden.

X. P t t l i t r t r " b r d i r t l d V r r b i t vo Q r l .

Das im D.R.P. 175385 von Heraeus beschriebene Verfahren zur Herstellung von blasenfreiem Quarzglas ist dadurch gekennzeichnet, daß man mehrere Stücke von Bergkristall zusammen langsam bis auf eine über 600 ° C. liegende Temperatur erhitzt, dann ein Stück nach dem anderen (vor Gebläse oder in einem Gefäße aus Kohle oder Iridium) direkt der Verglasungstemperatur aussetzt. Das unmittelbar verglaste Stück wirft man zu den bereits verglasten, auf der erforderlichen Temperatur gehaltenen Stücken und schmilzt das Ganze zu einer größeren Masse zusammen.

Verfahren von
Heraeus, Quarz
zu schmelzen.

In ihrem D.R.P. 179570 weist die Firma W. C. Heraeus auf die Nachteile hin, Bergkristall in Gefäßen aus Iridium zu schmelzen, da, ganz abgesehen von den hohen Anschaffungs- und Verzinsungskosten des letzteren, man mit der Schwierigkeit zu kämpfen hat, daß das feuerflüssige Quarzglas so stark an dem Iridium anklebt, daß es nur schwer herausgenommen werden kann, ohne daß das Gefäß dabei zerrissen oder stark verbogen wird; man muß für jede neue Beschickung auch wieder ein neues Iridiumgefäß verwenden, was natürlich das ganze Verfahren noch mehr verteuert; außerdem neigt auch das Iridium bei der erforderlichen hohen Temperatur zum Zerstäuben und verunreinigt dadurch das geschmolzene Quarzglas. Man hat auch versucht, den Bergkristall in Kohlentiegeln zu schmelzen, allein dies hat sich ebenso unpraktisch erwiesen, wie das Schmelzen im elektrischen Lichtbogenofen. In beiden Fällen findet eine starke Reduzierung der Kieselsäure statt, auch ist eine Verunreinigung des Quarzglases mit Kohlenteilchen nicht zu vermeiden. Statt dessen zieht Heraeus vor, Schmelzgefäße aus gebrannter Zirkonerde zu benutzen. Hierdurch wird die Herstellung des Quarzglases nicht nur wesentlich verbilligt, sondern auch ein durchaus einwandfreies, nicht verunreinigtes Quarzglas erzielt.

Die Zirkonerde schmilzt bei einer Temperatur, die mehrere 100 ° über der Schmelztemperatur des Bergkristalles liegt, außerdem

hat die Zirkonerde die Eigenschaft, sich bei der Schmelztemperatur des Bergkristalles nicht mit diesem zu verbinden, so daß das im Zirkongefäß erschmolzene Quarzglas vollständig rein ist, während andere schwer schmelzbare Stoffe, wie Magnesia, Kalk, Tonerde, Yttriumerde, Cererde, bei dieser Temperatur sofort kieselsaure Verbindungen bilden. Wenn beim Erkaltenlassen des Quarzglases im Zirkongefäß dieses zur Gewinnung des kalt gewordenen Flusses zerstört werden müßte, so hat dies bei der leichten Verarbeitung der Zirkonerde nicht viel zu sagen, da man aus den Trümmern des Gefäßes leicht wieder ein neues Schmelzgefäß herstellen kann, was bei Iridium mit vielen Kosten verbunden ist, da dieses Metall umgeschmolzen werden muß und außerordentlich schwer zu verarbeiten ist. Neben Zirkonerde hat auch die Thorerde die Eigenschaft, bei der Schmelztemperatur des Bergkristalles mit diesem keine Verbindungen einzugehen. Auch können Gefäße aus anderen feuerbeständigen Stoffen mit Zirkon- oder Thorerde ausgekleidet werden.

Bereits im D.R.P. 156756 (vergl. S. 157) ist die Verwendung von seltenen Erden für hochfeuerfeste Gefäße empfohlen worden, allein im vorliegenden Falle handelt es sich in erster Linie nicht um die Feuerfestigkeit, sondern um die Unangreifbarkeit durch schmelzende Kieselsäure.

Schmelzofen
von Vogel.

Auf welche Weise die Zirkongefäße mit ihrer Quarzbeschildung erhitzt werden, wird in der Patentschrift von Heraeus nicht erörtert. T. W. Vogel empfiehlt in seinem D. R. P. 209421 zum Schmelzen von Quarz Gefäße aus Lanthan-, Zirkon- oder Thoroxyd, die mit Stromzuführungen versehen sind und so als Heizwiderstand in den Stromkreis eingeschaltet werden können. Die Befürchtung ist jedoch naheliegend, daß das basische Gefäßmaterial unter der gleichzeitigen Wirkung des elektrischen Stromes bei so hohen Temperaturen und der schmelzenden Kieselsäure sich der letzteren gegenüber nicht inaktiv verhalten und die Quarzschmelze verunreinigen wird.

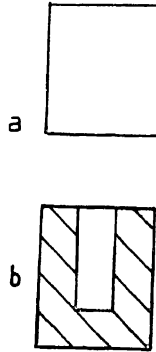
Herstellung von
Hohlgefäßen
nach Küch

Das von R. Küch herrührende, bei der Firma Heraeus ausgearbeitete Verfahren, um Quarzglas zu Hohlgefäßen zu formen (D.R.P. 172466¹⁾), besteht im wesentlichen darin, daß man zuerst durch Bohren und Pressen aus einem Quarzglasblock einen sehr dickwandigen, oben offenen, unten geschlossenen Zylinder oder Rohrstutzen herstellt, der an ein Blaserohr aus Quarzglas befestigt wird, um ihn dann in gewöhnlicher Weise vor dem Knallgasgeblase weiter zu verarbeiten.

1) Amerik. Pat. 805303.

Im ersten Falle wird zunächst ein massives zylindrisches Stück durch Erweichen einer passenden Menge von Quarzglas vor dem Gebläse, eventuell unter Pressung in geeigneten Vorrichtungen, vorgerichtet (Fig. 174a), sodann wird in kaltem Zustande in der Längsachse des massiven Zylinders ein etwa 5 mm weites Loch gebohrt (Fig. 174b).

Fig. 174 a u. b Gebohrte Quarzglasstutzen.



Im zweiten Falle wird ein rundlicher Klumpen von Quarzglas vor dem Gebläse auf die höchstmögliche Temperatur gebracht und dann mittels eines schmalen, etwas konischen Stempels in ein Gesenke hineingepreßt (Fig. 175c u. d). Gesenke und Stempel müssen entweder mit Platin überkleidet sein oder aus Platin oder Iridium bestehen.

In beiden Fällen erhält man einen kurzen dickwandigen, einseitig geschlossenen Zylinder, der in der aus Fig. 176 ersichtlichen Weise an ein vorhandenes Quarzglasrohr angeschmolzen und durch Verblasen vor dem Knallgasgebläse weiterverarbeitet wird.

Fig. 176. Angeschmolzener Quarzglasstutzen (vor dem Verblasen).

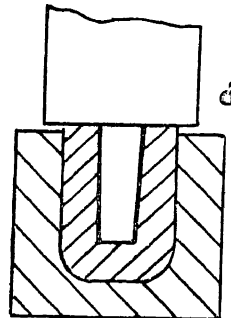
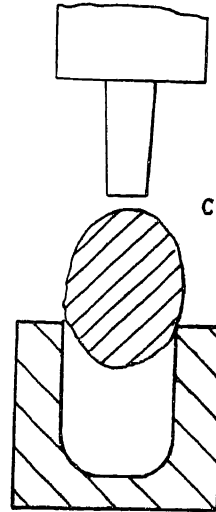
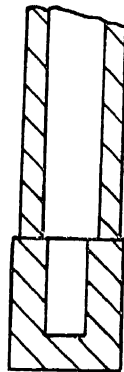


Fig. 175 c u. d Gepreßte Quarzglasstutzen.

Die mit Erweichung und Umformung eines Quarzglasstückes beginnende Arbeitsweise ist nicht zu verwechseln mit der zum Formen von Glas üblichen, bei welcher schmelzflüssiges Glas in eine Form gegossen und durch Einführung eines Preßstempels in die Form zu einem Hohlkörper von vorläufiger Gestalt gepreßt wird, der an eine Pfeife geheftet und durch Blasen in die endgültige Gestalt gebracht wird. Es ist ganz unmöglich, etwa einen Klumpen

geschmolzenen Bergkristalls in eine Form hineinzulegen und nun durch Hineindrücken eines Stempels einen zum Aufblasen geeigneten Hohlkörper herzustellen. Hierzu reicht der Grad der Weichheit nicht aus, denn das Glas müßte sich zwischen Stempel und den Wandungen der Form einpressen, um den Zwischenraum auszufüllen. Es muß zur Ausführung des vorliegenden Verfahrens deshalb der Klumpen des erweichten Glases einen größeren Durchmesser haben, als das Gesenke, damit man dann durch Aufsetzen des Stempels und durch Ausübung eines sehr kräftigen Druckes in derselben Weise den Hohlkörper herstellen kann, wie man aus einem Metallblech durch Drücken mittels Stempels in ein Gesenke einen solchen Hohlkörper erzielt. Das Quarzglas fließt bei diesem Prozesse nicht eigentlich, sondern wird durch starken mechanischen Druck in die Länge gezogen und so in die Form hineingeführt.

Thermometer-
kugeln aus
Quarzglas nach
Küch

Bereits Gautier und Dufour (S. 269) wiesen auf die Vorzüge hin, die die Benutzung des Quarzglases für die Thermometer, namentlich aber zur Messung hoher Temperaturen bietet. Es hat sich jedoch herausgestellt, daß, wenn man ein Quarzglasthermometer mit einem bei gewöhnlicher Temperatur festen Metall beschickt (S. 279), das Metall beim Erstarren den Hohlraum des Thermometers sprengt. R. Küch (bei der Firma W. C. Heraeus) fand nun (D.R.P. 170874¹⁾), daß Quarzglasgefäße, welche mit bei gewöhnlicher Temperatur festen Metallen gefüllt sind (z. B. Thermometer, Vakuumdampflampen), gegen Zertrümmerung beim Schmelzen und Wiedererstarren des geschmolzenen Metalles dadurch geschützt werden können, daß die inneren Gefäßwände, soweit sie mit dem Metall in Berührung kommen oder stehen, mit einem „pufferartig wirkenden Überzug“, insbesondere aus Kohle, versehen werden. Das kann dadurch geschehen, daß man durch das Glasgefäß vor der Füllung mit Metall einen Strom von Kohlenwasserstoffen (z. B. Leuchtgas) leitet und gleichzeitig von außen die Gefäßwände an denjenigen Stellen, an denen der Kohleüberzug erzeugt werden soll, bis zum Erweichen erhitzt.

Vorschläge von
Bredel.

Eine größere Anzahl von Patenten, die auf die Herstellung von Quarzglas sich beziehen, sind an J. Bredel erteilt worden. Obzwar aus den Patentschriften in keiner Weise zu ersehen ist, ob und eventuell inwiefern den betreffenden Verfahren wirkliche Beobachtungen oder wenigstens Vertrautheit mit hohen Temperaturen seitens deren Urheber zugrunde liegen, sollen diese Patentschriften der Vollständigkeit halber kurz besprochen werden.

1) Amerik. Pat. 805 304.

Im D.R.P. 157464 schlägt Bredel vor, statt Bergkristall den viel billigeren Quarzsand oder ähnliches kieselensäurehaltiges Material zu verwenden. Der Rohstoff wird zusammengeschmolzen, die Schmelze dann in kleine Stücke zerschlagen und diese wiederholt hoch erhitzt und dann schnell in kaltes Wasser gebracht, wodurch Unempfindlichkeit gegen Wärmeänderungen erzielt, sowie Blasenbildung beim nachfolgenden Schmelzen vermieden werden soll.

Nach dem D.R.P. 159361 werden Quarz, Sand oder andere kieselssäurereiche Stoffe nach mehrmaligem Abschrecken geschmolzen und die Schmelze unter Einwirkung eines heißen Dampf- oder Luftstrahles in Quarzwolle übergeführt. Je heißflüssiger die Schmelze und je kräftiger die Einwirkung des heißen Luft- oder Dampfstrahles ist, desto feiner wird die Quarzwolle. Diese wird nun in eine Form gepreßt und dann in der Richtung von unten nach oben zum Schmelzen gebracht, wodurch Blasenbildungen vermieden werden sollen.

Um blasenfreie Quarzglasschmelze zu erzielen, empfiehlt Bredel (D.R.P. 168574), das nach seinen Patenten 157464 und 159361 vorbehandelte Schmelzgut in bestimmter Korngröße in ein Schmelzgefäß, am besten in eine oben offene Muffel oder auch Röhre zu bringen. Nachdem man es auf etwa 1200°, also eine Temperatur, bei der es noch nicht schmilzt, durch Außenbeheizung erhitzt hat, führt man ins Innere des Schmelzgefäßes, und zwar in unmittelbare Berührung mit dem Schmelzgut, eine Knallgasflamme ein, in welcher ein großer Überschuß an Wasserstoff vorherrschen muß. Bei diesen hohen Temperaturen ist das Schmelzgut für Wasserstoff durchlässig, und es spielt sich folgender Vorgang ab: Der zuströmende Wasserstoff durchdringt das Schmelzgut, verbindet sich mit dem Sauerstoff der Luft und verbrennt mit demselben, während der Stickstoff sowie der Wasserdampf durch den Wasserstoff verdrängt werden, bis an Stelle der Luft und des Wasserdampfes nur Wasserstoff im Schmelzgut eingeschlossen ist. Da die aus dem Schmelzgut entstehende Schmelze aber für Wasserstoff durchlässig ist, entstehen, trotz der anfänglichen Anwesenheit von Wasserstoff, keine Glasblasen im weiteren Verlaufe der Schmelzarbeit. Infolgedessen ist jede Gelegenheit zu Blasenbildungen in der Schmelze vermieden. Bei einer Temperatur von 1950 bis 2000° ist die Schmelze dünnflüssig und luftblasenfrei, während man bisher, um dieses Resultat zu erzielen, das Schmelzgut auf 2300° erhitzen mußte.

Um Gegenstände aus geschmolzenem Quarzglas blasenfrei zu erhalten, will Bredel (D.R.P. 164619) die feuerflüssige Schmelze

aus dem Schmelzbehälter durch einen luftleeren Kanal in die ebenfalls luftleere Gießform gelangen lassen. Kanal und Form werden dabei ebenfalls bis auf die Schmelztemperatur des Quarzes erhitzt.

Die Ansprüche eines weiteren Patentes (D.R.P. 175867) von Bredel lauten: „Verfahren zur Erzeugung von Gegenständen aus geschmolzenem Quarz, dadurch gekennzeichnet, daß das Schmelzgut, vorzugsweise Quarzwolle, in einer dem herzustellenden Gegenstande entsprechenden, luftdicht abgeschlossenen und luftleer gemachten Form aus einem Leiter zweiter Klasse zunächst von außen und unten erhitzt und, nachdem die Form elektrisch leitend geworden, mittels eines durch die Form hindurchgeschickten Stromes (unmittelbare elektrische Widerstandserhitzung) fertig geschmolzen wird, worauf die Form der Erkaltung und die Schmelze der Erstarrung in der Gestalt des herzustellenden Gegenstandes überlassen wird. Ausführungsform des Verfahrens, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen dem Erhitzen von unten und außen und dem elektrischen Fertigschmelzen die Form nochmals luftleer gemacht wird.“

Nach dem D.R.P. 190226 von Bredel sollen Gegenstände aus pulverförmiger Kieselsäure in der Weise hergestellt werden, daß man sie bei gewöhnlicher Temperatur formt und einer zum Zusammenfritten der Kieselsäure ausreichenden Temperatur (1200 bis 1400 °) aussetzt; nach dem Abkühlen auf 1200 ° werden die Formlinge wieder angewärmt, woraufhin ihre Wandungen mittels einer überschüssigen Wasserstoff enthaltenden Knallgasflamme so lange bestrichen werden, bis sie unter gleichzeitiger Verdrängung der eingeschlossenen Luftblasen völlig verglasen.

Eine so konsequente Anhäufung von Unzweckmäßigkeiten, wie es in den vorliegenden Bredelschen Patentschriften der Fall ist, dürfte wohl selten vorkommen.

Verfahren von
Mehner.

Aus der neueren Literatur über die Geschichte der Erfindung von Porzellan durch von Tschirnhausen und Böttger ist auch allgemein bekannt geworden, wie meisterhaft von Tschirnhausen bereits vor 200 Jahren sich des Brennspiegels zur Erzeugung hoher Temperaturen und zum Schmelzen schwer schmelzbarer Erden zu bedienen gewußt hat. Dasselbe Mittel schlägt H. Mehner in seinem D. R. P. 203712 vor, wobei der elektrische Lichtbogen als Energiequelle benutzt werden soll. Die Patentansprüche lauten: Erschmelzen und Weiterverarbeiten von Quarzglas, dadurch gekennzeichnet, daß zum Erhitzen des Schmelzgutes die mittels Brennspiegel gesammelte Strahlung eines elektrischen Lichtbogens verwendet wird. Ausführungsform des Verfahrens dadurch gekennzeichnet, daß die Quarz-

glasschmelze zwecks Läuterns in einem abgeschlossenen Raum unter erhöhtem Gasdruck bis zur Dünflüssigkeit erhitzt wird, wodurch dem Verdampfen der Schmelze entgegengearbeitet wird. Ofen zur Ausführung des Verfahrens, gekennzeichnet durch die Anwendung einer spiegelnden Haube von der Form eines Rotationellipsoides über dem Herde mit einem elektrischen Lichtbogen im oberen und dem Herde im unteren Brennpunkte.

Die Schwierigkeiten, blasenfreies und klar durchsichtiges Quarzglas zu erhalten, führten zu einem Versuche, für solche Fälle, wo es auf die Durchsichtigkeit nicht ankommt, ein Material einzuführen, das mit Sandglas bezeichnet werden kann. Ausgehend von den bereits geschilderten Versuchen von R. S. Hutton (vergl. S. 281), arbeitete die Firma Thermal Syndicate Ltd.¹⁾ in Walsend-on-Tyne ein Verfahren aus, durch welches Sand in etwas größeren Mengen im elektrischen Ofen geschmolzen und in die verschiedensten Formen verarbeitet werden kann, so daß die Herstellungskosten von Gegenständen aus diesem Sandglas sich vielleicht etwas niedriger stellen, als die des Porzellans. Dieses Glas ist infolge der unzähligen winzigen Luftbläschen nur ganz schwach durchscheinend. Die Wandungen haben einen starken seidenartigen Glanz. Der Gehalt an SiO_2 beträgt über 99,5 %, und das spezifische Gewicht ist etwa 2,07. Das Material ist etwas spröde; Tiegel und Muffeln aus demselben sollen bei Beanspruchung bis 1300° eine größere Lebensdauer als Schamottekörper gezeigt haben. Platten aus diesem Sandglas können mit Vorteil Drahtnetze im Laboratorium ersetzen und bringen große Gasersparnis mit sich. Wie normales Quarzglas, hat auch dieses Produkt einen verschwindend geringen Wärmeausdehnungskoeffizienten und ist ein guter elektrischer Isolator. Wegen der Tendenz, zu entglasen, dürfen namentlich kleinere Gegenstände aus diesem Sandglas nicht lange Zeit über 1300° erhitzt werden. Bei großen Gegenständen darf die Hitzewirkung nicht auf gar zu kleine Oberflächen konzentriert werden²⁾ (vergl. E. Cramer, S. 315).

Über die Herstellungsweise dieser Geräte geben einige Auskunft die nachstehenden, von J. Bottomley, A. Paget und zum Teil in Gemeinschaft mit R. S. Hutton entnommenen Patente.

„Sandglas“ des
Thermal
Syndicate

Verfahren von
Bottomley,
Hutton und
Paget.

1) Zeitschr. f. angew. Chemie 1907, Bd. 20, S. 1372.

2) Ähnlich aussehende Sandglasgeräte wurden fast zu gleicher Zeit von der Berliner Firma, L. Bolle & Co., in den Handel gebracht. Die von derselben gelieferten Röhren hatten ziemlich grobkörnige bzw. grobfaserige und stark saugende Wandungen (vergl. S. 311).

Nach dem D.R.P. 169958¹⁾ wird eine gelochte Platte oder ein gelochtes Rohr aus Kohle oder Graphit in Kristallsand eingepackt und als Heizwiderstand durch einen starken elektrischen Strom bis zum Schmelzen des Sandes erhitzt; hierauf wird die erweichte Masse durch einen Rahmen an die Platte oder durch geeignete Kneifzangen an zwei Stellen an den Kern fest angedrückt und dann durch die Platte oder das Rohr Preßluft eingeblasen. Die

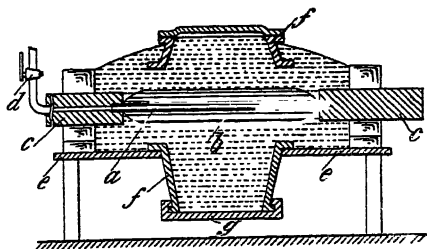


Fig. 177.

Schmelzofen für Sand mit einem Graphitrohr als Heizwiderstand.

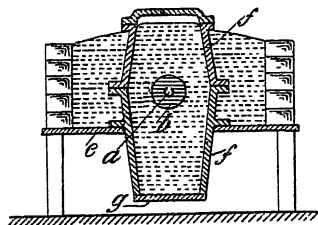


Fig 178

Preßluft treibt, wie bei dem Sievertschens Verfahren (vergl. S. 200), die auf der Platte oder um den rohrförmigen Kern liegende Schmelze (Fig. 177 u. 178) innerhalb des durch den Rahmen gegebenen Umrissses zu einem Hohlkörper auf. Bei einem Graphitrohr z. B. von 50 cm Länge, 3,5 cm äußerem Durchmesser und 5 mm Wandstärke ist ein Strom von ungefähr 1200 Amp. und 17 Volt während einer Stunde nötig. Wenn die Schmelzung stattgefunden hat, werden die Zangen (Fig. 179) rings um die Enden des Kernes geschlossen und so ein dichter Abschluß hergestellt. Der ungeschmolzen gebliebene Sand wird durch die Klappe *g* entfernt und komprimierte Luft allmählich unter solchem Druck zugelassen, daß der aus der Schmelze entstehende Hohlkörper sich an die Wandungen *f* anlegt. Dieser kann dann weiter verarbeitet werden.

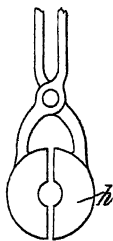


Fig 179.

In allen hier abgebildeten und nach einem und demselben Maßstab gezeichneten Öfen bedeutet *a* den durchlochten Hohlkern aus Graphit oder Elektrodenkohle, und *b* zeigt den wirksamen Hitzebereich. Die Stromzuführungen *c* sind ebenfalls aus Kohle, für den Ofenmantel *e* wird Eisenblech oder Gußeisen genommen; *f* ist die Form, die durch die Schmelze ausgefüllt werden soll. Fig. 180 u. 181 stellen einen Ofen dar, in dem als Erhitzungskern die perforierte Kohlenplatte *a* benutzt wird; sie ist mit einem Luftdruck-

1) Engl. Pat. 10670 (1904).

rohr *j* aus demselben Material versehen. Bei einer solchen Platte von etwa $45 \times 15 \times 0,73$ cm beträgt der erforderliche Strom etwa 1000 Amp. bei 22 Volt.

In dem Ofen nach Fig. 182 wird der Sand nur durch die strahlende Wärme der Kohleplatte *a* zum Schmelzen gebracht. Bei gleichen Abmessungen, wie zuletzt, beträgt der Strombedarf

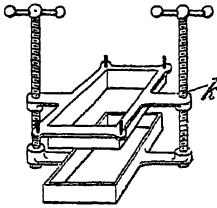


Fig. 180.

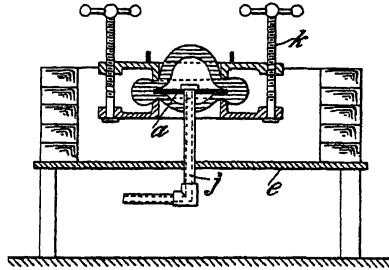


Fig. 181.

Schmelzofen für Sand mit einer perforierten Kohlenplatte als Heizwiderstand.

1500 Amp. bei 22 Volt. Nach dem Schmelzen wird die Deckschicht entfernt und in eine aufgesetzte Form geblasen.

Dieses Verfahren ist dadurch gekennzeichnet, daß das Schmelzgut auf einer gelochten Platte oder um einen gelochten Kern liegend geschmolzen wird, worauf die geschmolzene Masse längs eines geschlossenen Umrisses an die Platte oder an zwei Stellen gegen den Kern angedrückt oder in luftdichter Berührung gehalten und mittels der durch die Lochungen eingeblasenen Preßluft ausgedehnt wird.

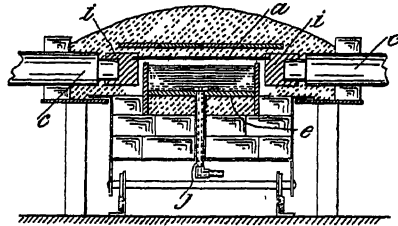


Fig. 182 Schmelzen von Sand vermittelst Wärmestrahlung einer Kohlenplatte.

Durch den zweiten Patentanspruch wird hervorgehoben, daß die Platte oder der Kern zugleich den elektrischen Heizwiderstand bilden kann.

In ihrem D.R.P. 170234¹⁾ weisen dieselben Erfinder darauf hin, daß, da es bei den eben beschriebenen Öfen an Vorkehrungen fehlt, um die Elektroden rasch vom Heizkern und diesen vom Quarzglaszylinder zu trennen, die zylindrische Quarzglasmasse auf dem Kern in der Regel erstarren wird, noch bevor sie vom Heizwiderstandskern abgenommen und weiter verarbeitet werden kann. Es wurde daher eine Ofeneinrichtung ausgearbeitet, die es ermöglicht, den Rohkörper, noch ehe er erstarrt, vom Kern und aus

1) Engl. Pat. 18437 (1904).

dem Ofen schnell zu entfernen und durch weiteres Verglasen, Ziehen, Blasen, Pressen oder sonstwie weiter zu verarbeiten, solange er noch bildsam ist.

Auch in diesen Öfen (Fig. 183 u. 184) besteht der Heizkern *a* aus einer Graphit- oder Kohlenstange, die zwischen den Enden der Elektroden *b* ebenfalls aus Graphit eingepaßt ist. Um den Heizkern zusammen mit der Elektrode an einem Ende entfernen zu können, kann die Stange an diesem Ende in die Elektrode eingeschraubt und am anderen Ende eingezapft werden. Die Elektroden werden in metallenen Haltern *c* auf metallenen Säulen unterstützt, denen der Strom in geeigneter Weise zugeführt wird. Die Säulen sind so angelegt, daß sie in Querführungen *d*, die elektrisch isoliert sind, gleiten

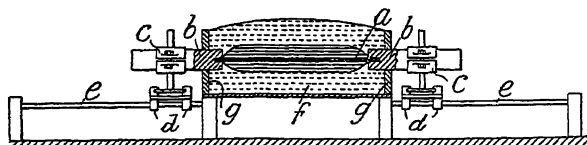


Fig. 183.

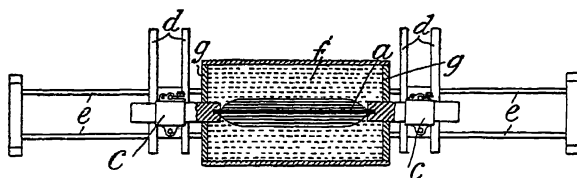


Fig. 183 u. 184. Auseinandernehmbarer Schmelzofen für Sand.

können, während die Querführungen selbst in Längsführungen *e* verschoben werden können. Ein Trog *f* nimmt die zu schmelzende Masse auf; seine Endseiten *g* sind abnehmbar, um die Bearbeitung des Quarzglaszylinders zu erleichtern.

In der Patentschrift wird unter anderem folgendes Ausführungsbeispiel erwähnt: Durch eine 600 mm lange und 25 mm starke, runde Graphitstange, die mit Quarzsand umgeben ist, wird $\frac{1}{2}$ Stunde ein Strom von 1000 Amp. und 15 Volt durchgeschickt. Nach vollendeter Schmelzung wird der Strom abgestellt, und die Elektroden werden auf die Längsführungen zurückgezogen, wobei der Graphitkern zusammen mit derjenigen Elektrode, in welche er eingeschraubt ist, herauskommt. Sobald die Elektroden und der Kern völlig frei sind, werden sie auf den Querführungen seitwärts geschoben, und der bildsame Zylinder ist nun zur weiteren Bearbeitung bereit. Um das Zurückziehen des Heizkernes zu erleichtern, ist es jedoch nötig, die Erhitzung genügend fortzusetzen, um zunächst eine Lockerung

zwischen dem Heizkern und der Schmelzmasse durch innere Gasbildung hervorzubringen oder die Lösung durch Einführung von Gas oder Luft zwischen dem hohlen und durchlochtem Heizkern und der Schmelzmasse zu bewirken.

In der Ausführungsform nach den Fig. 185 u. 186 werden die Flansche der Metallhülsen *h* an den Enden des Troges *f* durch Klammern *p* festgehalten, und der Ofen ist auf den Querspafen *q* drehbar angeordnet. Die Metallhülsen *h* besitzen Ansätze *r*, mit denen sie in Blöcken *s* sitzen; diese laufen in den Querführungen *d*, die, wie zuvor, auf den Längsführungen *e* verschoben werden können. Die Heizung wird bei senkrechter Lage des Ofens ausgeführt, wobei zur

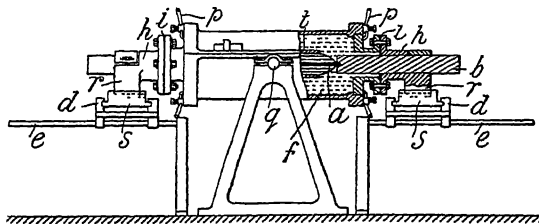


Fig. 185

Stromzuführung Schleifkontakte, z. B. Bürsten, angewendet werden; nach erfolgter Schmelzung wird der Ofen in wagerechte Lage gedreht, so daß der Ansatz der Metallhülsen *h* in die Blöcke

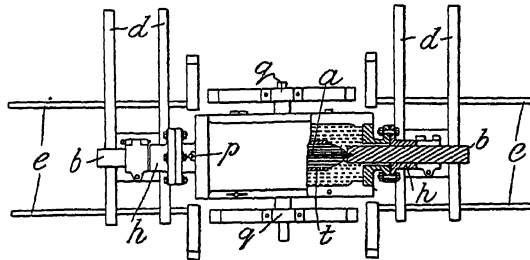


Fig. 185 u. 186 Sandschmelzofen zur Erzeugung völlig verglasten Zylinder

zu sitzen kommt. Sodann werden die Klammern *p* geöffnet und die Elektroden herausgezogen.

„Wenn die Masse durch die ganze Schicht hindurch verglast werden soll, so wird sie mit einem Mantel aus Kohle oder anderem schwer schmelzenden Stoff versehen, der den Kern so umgibt, daß eine Schicht von gewisser Stärke zum Schmelzen gelangt. Dieser Mantel, der bei jedem hier in Frage kommenden Ofen angewendet werden kann, ist in Fig. 185 u. 186 mit *t* bezeichnet. Die Enden des Heizkernes können unbemantelt gelassen werden, wie diese Figuren zeigen, um die Handhabung des bildsamen Zylinders zu erleichtern; aber um zu verhindern, daß die in den Mantel eingeschlossene Schmelze durch Einwirkung der Preßluft aus den unbemantelt gelassenen Enden des Kernes herausgeblasen werde, können diese Enden von einem bedeutend weiteren Mantel derart umgeben

werden, daß die äußerste Schicht der Schmelzmasse während des Hauptschmelzvorganges nicht zum Schmelzen kommt und die Endmäntel vor dem Entnehmen des Quarzglaszylinders leicht entfernt werden können. Einer der Endmäntel kann trichterförmig gestaltet werden, damit das Schmelzgut leichter eingefüllt werden kann. Der Mantel kann aus zwei Hälften der leichteren Abnehmbarkeit halber zusammengesetzt werden, in welchem Falle die den Mantel außen umgebende Masse, die als Wärmeschutzmittel dient, aus irgendeinem schwer schmelzenden Stoff, z. B. Magnesia, Karborund und dergl., bestehen kann. Als Heizkern kann eine Graphitstange von z. B. 600 mm Länge und 25 mm Durchmesser und als Mantel dazu ein Hohlzylinder von homogener Kohle 75 mm inneren Durchmessers zwischen den Elektroden befestigt werden. Das ganze Innere des Ofens, einschließlich des Mantelraumes, wird mit reinem Glasmachersand gefüllt. Ein Strom von 1000 Amp. und 15 Volt wird angelassen, bis der Sand auf der Umfläche des Mantels zu schmelzen beginnt, was ungefähr $\frac{3}{4}$ Stunde dauert. Der Hitzegrad des Heizkernes kann so geregelt werden, daß sich eine Gasschicht auf dem Kern bildet, welche nachher das Herausziehen desselben aus der geschmolzenen Masse erleichtert. Der Ofen wird dann in wagerechte Lage gedreht und an die Vorrichtung zum Trennen der Elektroden angeschlossen. Der Ofenkörper wird geöffnet und nach Abstellen des Stromes die Elektroden getrennt, worauf der in dem Mantel enthaltene bildsame Zylinder zur weiteren Bearbeitung bereit ist.“

Nach der Entfernung aus den soeben beschriebenen Öfen erstarrt zwar die Außenseite des Zylinders sehr rasch und leistet daher auch dem sofort darauffolgenden Versuche, den Zylinder weiter aufzublasen, großen Widerstand, dieser kann aber, wie J. Bottomley und A. Paget fanden (D.R.P. 174509), bei genügender Kraft überwunden werden, worauf der Zylinder ohne Wiedererhitzung dank der verbleibenden Bildsamkeit der Masse leicht weiter ausgedehnt werden kann. Es hat sich herausgestellt, daß, nachdem die Arbeit des Ausdehnens erst angesetzt hatte, zum weiteren Ausdehnen nur halb soviel Kraft erforderlich war, so daß der noch bildsame Zylinder vorzugsweise durch Blasen oder durch Blasen und Ziehen in einem Arbeitsgange weiter bearbeitet werden konnte. Die Weiterformung des Zylinders findet also im Freien und ohne Wiedererwärmung statt, wobei man sich zweckmäßigerweise einer Form nach Fig. 187, die speziell für Flaschen- und Röhrenerzeugung bestimmt ist, bedient. Die Zange *U* ist mit einer Düse versehen. *Y* ist der bildsame

Quarzglaszylinder. Zur Erzeugung von Rohren wird nun die plastische Masse mittels der Zangenbacken ringsherum angepreßt und gleichzeitig das andere Ende des Zylinders durch eine andere Zange geeigneter Form durch Zusammendrücken geschlossen. Der Zylinder wird aus dem Ofen entfernt und ausgezogen unter gleichzeitigem Einlassen von Druckluft durch das Rohr *W* der Düse, um die gewünschte Zylinderform von beliebigem Durchmesser zu erhalten.

Über den Kraftverbrauch bei dieser Arbeitsweise teilt die

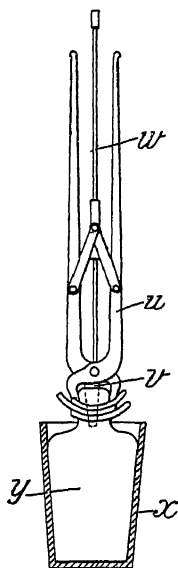


Fig. 187. Zange mit Blasevorrichtung zur Verformung von Sandglaszylindern.

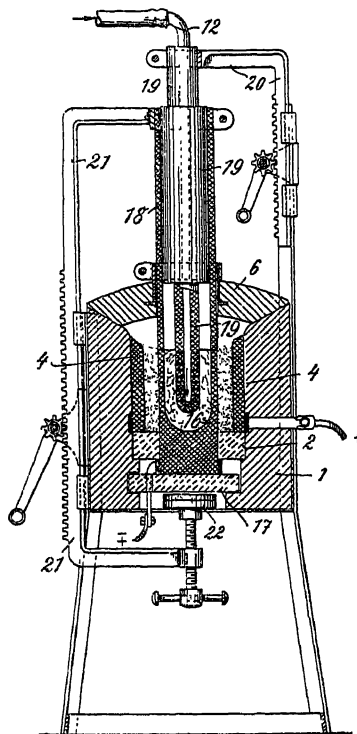


Fig. 188. Tiegelofen von Bolle & Co zum Schmelzen von Sand.

Patentschrift mit, daß um einen noch bildsamen Quarzglaszylinder von etwa 4,5 kg Gewicht zu einem Rohr von über 9 cm Durchmesser auszuziehen, ein Anfangszug von 25 kg nötig war, der sich jedoch auf 12 kg ermäßigte, sobald das Quarzglas sich zu strecken begonnen hatte.

Das Charakteristische der soeben geschilderten Arbeitsweise liegt in der unmittelbaren Berührung zwischen dem Heizwiderstande und dem zu schmelzenden Sand. Anders verfährt die Firma L. Bolle & Co.¹⁾, die sich jetzt Deutsche Quarzgesellschaft nennt,

Arbeitsweise
von
L. Bolle & Co.

1) D. R. P. 204537, 204853/4; Engl. Pat 5764 (1907).

indem sie den Sand in Kohlentiegeln und Kohlenmuffeln schmilzt. Der hierzu benutzte Tiegelofen (Fig. 188) besteht aus einem durch Mauerwerk geschützten Kohlezylinder (4), der als eine Stromzuführung ausgebildet ist, aus dem Schmelzgefäß aus Kohle (16), das als die andere Elektrode dient, und der Heizwiderstandsmasse aus Kohlen-
grieß, die den Zwischenraum zwischen den beiden Elektroden ausfüllt. In den Kohlentiegel 16 ragt ein perforierter hohler Kohlen- oder Graphitkörper 19 (Plunger), der in die flüssige Schmelze eingetaucht werden kann, wodurch diese zum Teil in die Höhe

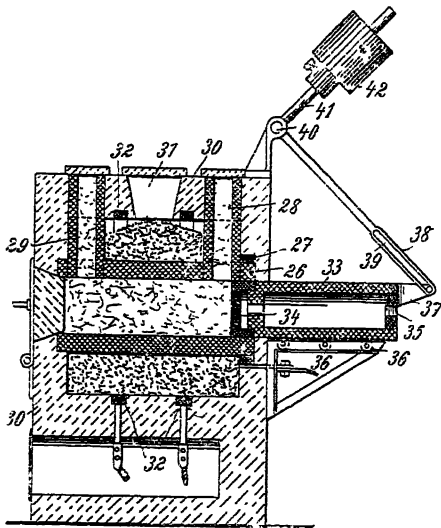


Fig 189. Muffelofen von Bolle & Co zum Schmelzen von Sand

verdrängt wird, so daß ein größerer Hohlkörper entsteht. Zwecks Herstellung von dünnwandigen Glaskörpern kann außerdem durch die perforierten Wandungen des Plungers 19 Luft eingeblasen werden. Die Fig. 189 stellt einen liegenden Ofen dar, in dem 32 die äußeren Elektrodenringe sind, 26 ist das Schmelzgefäß aus Kohle, das durch die beiden Schächte 28 und 29 mit Sand und dergl. nachgefüllt wird. In dem Maße, wie die Schmelze vor sich geht, drückt der auf Rollen ruhende Stempel oder

Plunger 33 infolge der Wirkung des beschwerten Hebels 41 auf das Schmelzgut und komprimiert es.

Um Quarzglasgegenstände dauernd mit metallenen Zubehöerteilen zu verbinden, sei es, um das Quarzglas zu verstärken oder das Metall zu schützen, empfehlen J. F. Bottomley und A. Paget (D.R.P. 176512), den betreffenden Quarzglasgegenstand mit Metall zu umgießen. Da das Quarzglas eine Zusammenziehung nicht erleidet, so entsteht infolge des durch die Zusammenziehung des Metalles nach dem Gießen hervorgerufenen Druckes eine feste Verbindung beider Metalle. Bei spröden Metallen, z. B. Bronze, empfiehlt es sich, den Quarzglasgegenstand vorher mit einem nachgiebigen, feuerfesten Stoffe, z. B. mit einer Asbestschnur, zu umwickeln.

Metall-
einfassungen für
Quarzglas

X. Eigenschaften von Quarzglas wobei es gegeben ist.

Verhalten von
Quarzglas-
gefäßen beim
chemischen
Gebrauch.

Nach Untersuchungen von F. Mylius und A. Meyser¹⁾ ergaben die von der Firma W. C. Heraeus zur Verfügung gestellten Quarzglasgeräte bei der Prüfung nach chemischen Gesichtspunkten folgendes: 1. Wasser greift die Geräte nicht merklich an, weder bei gewöhnlicher Temperatur, noch bei 100° (vergl. S. 216). 2. Natronlauge, Kalilauge, Ammoniak, sowie die Lösungen alkalisch reagierender Salze, bringen schon bei gewöhnlicher Temperatur Kieselsäure in Lösung; in der Wärme nimmt die Lösung stark zu. 3. Barytwasser schied bei 18° nach sechs Monaten Kristalle von Bariumsilikat ab. 4. Verdünnte Säuren, mit Ausnahme von Fluorwasserstoffsäure, greifen selbst bei 100° nicht merklich an. 5. Konzentrierte Schwefelsäure ist ebenfalls selbst bei 100° ohne wesentliche Einwirkung. 6. Auch Phosphorsäure ist bei 18° ohne Einwirkung, jedoch scheidet sich beim Konzentrieren über 400° weißes Silizylphosphat ab. 7. Fluorwasserstoffsäure übt stark lösende Wirkung aus. 8. Während aus 30prozentiger Kalilauge Quarzgefäße Kali absorbieren, konnte ähnliches bei 30prozentiger Natronlauge nicht beobachtet werden. 9. Quarzgefäße absorbieren gewisse Farbstoffe, Methylenblau, Kongorot, Rhodamin, alkoholische Lösung von Anilinblau usw., aus ihren Lösungen; diese allerdings geringen Mengen der absorbierten Farbstoffe können den Gefäßen durch heiße Lösungsmittel wieder entzogen werden. Die Verfasser besprechen dann die guten Eigenschaften der Quarzgefäße, die diesen eine dauernde Benutzung bei chemischen Arbeiten sichern, heben aber auch hervor, daß sie gegenüber alkalischen Flüssigkeiten keinen Vorzug vor Glasgefäßen besitzen, da in beiden Fällen festes Material in Lösung geht, und daß, wie früher, der Gebrauch der Edelmetalle bei Fluorwasserstoffarbeiten, Schmelzflüssen und dergl. nicht umgangen werden kann.

¹⁾ Zeitschr. f. anorg. Chemie 1905, Bd. 44, S. 221; Chem.-Ztg., Repertorium 1905, S. 145

Analoge Untersuchungen stellte auch M. Berthelot¹⁾ mit Quarzglasgefäßen an. Er gibt eine sehr ausführliche Darstellung seiner Hantierungsweise mit diesen Gefäßen und gelangt zu einem sehr günstigen Urteil über dieselben.

Diese günstigen Ergebnisse veranlaßten den Internationalen Atomgewichts-Ausschuss²⁾, auf den Einfluß hinzuweisen, welchen die Löslichkeit des Glases auf die Atomgewichtsbefunde ausüben kann, und daher zu empfehlen, bei neu auszuführenden Atomgewichtsbestimmungen Quarzglasgefäße anzuwenden.

G. P. Baxter³⁾ machte beim Schmelzen von Jodsilber in einer Chlorgasatmosphäre in einem Roseschen glasierten Porzellantiegel die Beobachtung, daß der Tiegel nach jedem Versuch eine Gewichtszunahme von 3 bis 1 mg zeigte, und daß die Glasur des Tiegelbodens sich schwach färbte. Die Versuche wurden daher in einem Tiegel aus Quarzglas fortgesetzt. Wie Baxter berichtet, „verhielten sich die Tiegel ideal, denn sie blieben während der ganzen Operation vollkommen gewichtskonstant“. Während des Festwerdens des geschmolzenen Salzes war es nötig, den Tiegel umzuwenden, damit das Salz in dünner Schicht auf den Seiten des Tiegels erstarrte. Wurde diese Vorsichtsmaßregel nicht beachtet, so sprang der Tiegel fast stets.

B. Blount und A. G. Levy⁴⁾ untersuchten die beiden im Handel vorkommenden Sorten von Quarzglasröhren (aus durchsichtigem Quarzglas und undurchsichtigem Sandglas), die nach der Analyse neben 99,77 % SiO_2 geringe Mengen von Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO und Na_2O enthalten. Bei Verwendung der Quarz- und Sandglasröhren für organische Verbrennungen ist zu berücksichtigen, daß bei Temperaturen über 900° Kupferoxyd die Röhren rasch angreift und zerstört. Die Röhren eignen sich zur Bestimmung von Sauerstoff im Kupfer durch Erhitzen im H -Strom. Bei der Bestimmung von Kohlenstoff im Stahl wird letzterer im Sauerstoffstrom in einer Quarzglasröhre im elektrischen Ofen erhitzt, die Verbrennungsprodukte über erhitzten, platinieren Quarz geleitet und in Absorptionsapparaten aufgefangen. Die Übereinstimmung der so gewonnenen Resultate mit den auf nassem Wege erhaltenen war eine genügende.

1) Compt. rend. Bd. 140, S. 817.

2) Zeitschr. f. anorg. Chemie 1904, Bd. 38, S. 1.

3) Ebenda 1905, Bd. 43, S. 14.

4) The Analyst 1909, Bd. 34, S. 88 bis 98; Zeitschr. f. angew. Chemie 1909, S. 1370.

Ob die Benutzung von Quarzglas zur Herstellung umfangreicher Gegenstände seinem hohen Preis entsprechende Vorteile verspricht, ist jedoch ungewiß, denn die so wichtige Eigentümlichkeit des Quarzglases — seine Unempfindlichkeit gegen schroffen Temperaturwechsel — scheint sich bei umfangreichen dickwandigen Gegenständen zu verlieren. E. Cramer¹⁾ teilte gelegentlich der Vorführung einer größeren, aus einem Stück hergestellten Quarzglas muffel folgendes mit:

„Es ist erwiesen, daß Quarzglasfläschchen mit dünnen Wandungen jede plötzliche Temperaturschwankung aushalten. Bei größeren Wandstärken scheint jedoch die Eigenschaft verloren zu sein. Bei schnelleren Temperaturwechseln reißt nämlich die Quarzmuffel ebenso, wie eine solche aus Schamotte. Interessant war bei Anwendung dieser Muffel, daß, obwohl der Scherben vollständig glasig war, Eisenteilchen, welche sich auf der Oberfläche der Muffel befanden, langsam in den Scherben eingedrungen sind. Es sind Stücke vorhanden, die vollständig schwarz gefarbt sind (vergl. auch S. 280), und die Analyse ergab, daß diese schwarzen Scherbenbröckchen nur 5 % Eisenoxyd enthalten. Es ist also jedenfalls eine neue Erscheinung, daß Schmelzmittel den geschmolzenen Quarz durchdringen.“

Höchstwahrscheinlich handelt es sich in dem hier erörterten Falle nicht um eigentliches Quarzglas, sondern um Sandglas. Wie aus dem Berichte von J. F. Bottomley²⁾ auf dem Londoner Kongreß für angewandte Chemie, wo auch eine außerordentlich reiche Sammlung von Gegenständen aus Sandglas vorgeführt wurde, zu entnehmen ist, finden auch ganz große Geratschaften aus Sandglas, wie z. B. Schalen bis zu etwa 1 m Durchmesser, Tiegel und ähnliche Gefäße bis zu etwa 50 Liter Inhalt, große Kühlschlangen und dergl., Absatz, namentlich in der Säureindustrie. Nach längerem Gebrauch geht jedoch die geschmolzene Kieselsäure dieser Gefäße in eine kristallinische Modifikation über, wodurch die Gefäße an Festigkeit sehr verlieren. Auch ist die Undurchlässigkeit für Gase bei höheren Temperaturen keine sehr gute.

Über die Destillation der meisten „schweren“ Metalle in erhitzten und evakuierten Quarzglasgefäßen durch Kraft und durch Schaller wurde bereits berichtet (S. 286).

1) Ber. über d. XXVII. Hauptversamml. d. Vereins D. Fabriken feuerf. Produkte 1907, S. 87. Leider ist die Provenienz der Muffel nicht angegeben.

2) Zeitschr. f. angew. Chemie 1909, S. 1233, sowie S. 1964 mit einer Mitteilung von Voelker über „Quarzgut“.

Gasdurchlässig-
keit des
Quarzglas.

Die erste genauere Prüfung der Gasdurchlässigkeit der Quarzgefäße dürfte wohl von Villard¹⁾ herrühren. Er fand, daß Quarzglas in der Rotglut Wasserstoff durchläßt, wenn auch nicht in so hohem Grade wie Platin. Wird ein evakuiertes und an ein Manometer angeschlossenes Quarzglasrohr in einer Bunsenflamme auf etwa 1000° erhitzt, so tritt bereits nach 1/2 Stunde ein Innendruck von einigen Millimetern auf, der nach einem Tage auf mehrere Zentimeter steigt. Das eingedrungene Gas verläßt wieder das Rohr, wenn man es mit einem Platinmantel umgibt, durch den Zwischenraum Luft durchstreichen läßt und das Ganze erhitzt. Durch Verbrennung des beim Erhitzen in der Bunsenflamme eingedrungenen Gases stellte Villard fest, daß es Wasserstoff sei. Je näher man sich der Erweichungstemperatur des Quarzglas nähert, um so durchlässiger wird es.

A. Jaquerod und F. L. Perrot²⁾ stellten gelegentlich ihrer Versuche, ein mit Helium gefülltes Quarzglas thermometer für Temperaturen bis 1100° herzustellen, fest, daß von 220° an das Helium durch Quarzglas diffundiert, wobei die Diffusion proportional dem Drucke zu sein scheint.

M. Berthelot³⁾ beobachtete (allerdings bei etwa 1300°) auch bei Sauerstoff und Stickstoff in bezug auf den Austausch zwischen den in den Röhren befindlichen und den atmosphärischen Gasen die gleiche Erscheinung, wenn auch in nicht so hohem Maße. Das erweichende Quarzglas verhält sich Gasen gegenüber, bis zu einem gewissen Punkte, wie ein tierisches Membran (z. B. Kautschuk), indem es der Endosmose und Exosmose fähig ist.

Quarzglas- und
Sandglasrohre.

Über die Zweckmäßigkeit der Anwendung von Quarzglasröhren als Schutzhüllen für Thermoelemente gehen die Urteile auseinander. Vielfach geht aus den Veröffentlichungen über die zum Teil ungünstigen Erfahrungen nicht klar hervor, ob es sich in den betreffenden Fällen um klares Quarzglas oder um das viel billigere faserige und in der Tat leichter mürbe werdende „Sandglas“ handelt. Die seiner Zeit von Shenstone dem Verfasser gegenüber gemachte Äußerung über diese beiden Glasarten (S. 280) und sein Hinweis, daß, so gut sich das Sandglas für manche technische Zwecke auch eignen mag, es doch nicht das Quarzglas ersetzen kann, wenn es sich um Erzielung genauerer Resultate handelt, trifft voll und ganz

1) Compt. rend., Bd. 130, S. 1752.

2) Ebenda, Bd. 139, S. 789.

3) Ebenda, Bd. 140, S. 821.

noch heute zu. Auch die chemische Beschaffenheit der Ofenatmosphäre ubt auf die Haltbarkeit der Quarzglasrohre großen Einfluß aus. Schließlich kommt bei den Quarzglasapparaten auch viel auf ihre saubere Handhabung seitens des Personals an. Aus diesen Gründen kann den Mitteilungen von Austin und Mellor¹⁾ über das Zerfallen der Quarzglasröhren nach längerem Erhitzen auf 1350° keine abschließende Gültigkeit zugemessen werden.

Die Verwendung von Quarzglas zur Herstellung von Thermometern für höhere Temperaturen unter Anwendung von Füllungen aus anderen Metallen als Quecksilber hat sich bis jetzt noch nicht eingebürgert. Wohl aber gelang es, wie E. Haagn²⁾ mitteilt, der Firma W. C. Heraeus, durch Anwendung von Quarzglas zum Bau von Widerstandsthermometern (vergl. S. 26) dieselben wesentlich zu verbessern und auf diese Weise das Quarzglas doch den Zwecken der Thermometrie dienstbar zu machen.

Quarzglas in der Thermo- und Pyrometrie.

Das von William Siemens zuerst bei Tiefseemessungen angewandte Widerstandsthermometer ist durch Callendar, Siemens & Halske und Hartmann & Braun weiter ausgebaut worden. Aber auch die neueren Konstruktionen, bei denen der Platindraht auf ein Glimmerkreuz oder einen Porzellanzyylinder aufgewickelt ist, zeigen den schwerwiegenden Nachteil, daß zwischen dem Platindraht und der äußeren Umhüllung eine Luftschicht liegt, welche einen nur langsamen Temperatúraustausch zwischen Widerstandsdraht und Umgebung gestattet. Bei höheren Temperaturen erleidet überdies der Platindraht Dehnungen, welche den Widerstand des Drahtes dauernd verändern können. Diese Übelstände kommen nun bei den neuen Quarzglasinstrumenten ganz in Wegfall. Der Widerstandsdraht wird unter Erhitzung in einem elektrischen Ofen auf eine etwa 2 mm starke Kapillare aus Quarzglas auf der Leitspindeldrehbank aufgewickelt. Der Platindraht haftet sehr fest auf dem Quarzglas. Diese Kapillare wird in eine gut passende Quarzglasröhre gesteckt. Es wird nun die Röhre evakuiert und der über der Kapillare befindliche Teil im Knallgasgebläse erhitzt, so daß das Quarzglas erweicht. Das äußere Rohr legt sich dann vollkommen dicht auf den Draht auf, so daß dieser mit dem Körper innig verschmolzen ist und daher jeder Temperaturschwankung des Körpers sofort folgt. Auch eine Dehnung oder Zerrung des Drahtes ist auf diese Weise ausgeschlossen, ebenso wie die Möglichkeit der Einwirkung schädlicher Gase. Für

1) Journ. Soc. of Chem. Ind 1907, S. 380.

2) Zeitschr. f. angew. Chemie 1907, S. 565.

den Meßbereich von -100 bis 700° soll dieses Instrument sehr empfindlich (bis auf $0,05^{\circ}$) eingerichtet werden können.

Nach Bristol (Amerik. Pat. 839983) eignen sich vorzüglich Gefäße aus Quarzglas zum Aufbau elektrischer Öfen, indem man die Gefäße einfach mit Heizspiralen aus Platindraht umwickelt.

Da das Anschmelzen von Quarzglasrohren an die Quecksilberluftpumpe schwer durchführbar ist, und das Einschmelzen von Elektroden, selbst wenn man Iridium hierzu anwendet, in den meisten Fällen unbefriedigende Resultate liefert, haben J. Elster und H. Geitel¹⁾ in Gemeinschaft mit Siebert und Kuhn ein Verfahren ausgearbeitet, diese Schwierigkeiten zu vermeiden.

Sie verwenden hierzu Schliffstücke, die halb aus Quarzglas und halb aus gewöhnlichem Glas bestehen. Es hat sich gezeigt, daß man sowohl ein Quarzrohr in ein Glasrohr, als auch umgekehrt

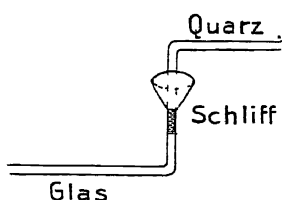


Fig 190. Anschluß von Quarzglasapparaten an Vakuumpumpen und dergl. nach Elster und Geitel

ein Glasrohr in ein Quarzrohr einschleifen kann. Um Elektroden in Quarzrohre luftdicht einzuführen, bedient man sich ähnlicher Vorrichtungen, indem die Elektroden in gewöhnliche Glasröhrchen eingeschmolzen und die Glaskörper in das Quarzrohr eingeschliffen werden. In den Trichter (Fig. 190) kommen ein paar Tropfen Quecksilber, die eventuell mit etwas Kollo-

phoniumkitt übergossen werden können, um das Verschütten des Quecksilbers beim Hantieren mit dem Apparat zu vermeiden.

Nach F. Trowbridge²⁾ halten Quarzglasgefäße stärkere elektrische Entladungen aus, als solche aus gewöhnlichem Glas. Bei starken Entladungen zeigen die Vakuumröhren aus Quarzglas kontinuierliches Licht ohne Linien.

Gelegentlich seiner Untersuchung über die Einwirkung der stillen elektrischen Entladung auf Chlor stellte Franz Ruß³⁾ Parallelversuche mit thüringischen Glas- und Quarzglasgefäßen an.

Diese Vergleichsversuche ergaben, daß das Gemisch aus Chlor und Benzol unter sonst gleichen Bedingungen in Quarzglasgefäßen eine 5,5 bis 7mal größere Menge Chlorbenzol ergab, als im Thüringer Glas. Diese Erscheinung schreibt Ruß der erhöhten Durchlässigkeit des Quarzglases für ultraviolette Strahlen zu.

1) Physik. Zeitschr. 1904, Bd. 5, S. 33.

2) Electrical Review 1903, Bd. 43, S. 682.

3) Monatsh. f. Chemie 1905, Bd. 26, S. 642.

Vakuumröhre
aus Quarzglas

Beeinflussung
der Reaktions-
geschwindigkeit.

Schon mehrfach ist die Beobachtung gemacht worden, daß, wenn ein neues, auch noch so schwierig herzustellendes und sonst mit eigenartigen Eigenschaften behaftetes Erzeugnis wirklich schätzenswerte Eigenschaften aufweist, es gar bald eine viel breitere Verwendung und größere Bedeutung erlangt, als es den Entdeckern ursprünglich vorgeschwebt hatte.

Durch seine Schwerschmelzbarkeit, Unempfindlichkeit dem Temperaturwechsel gegenüber und hohe elektrische Isolierfähigkeit ist Quarzglas ein sehr wertvolles Hilfsmittel bei chemischen und physikalischen Versuchen geworden; seine Unlöslichkeit in den meisten üblichen Lösungsmitteln sichert den Gefäßen aus Quarzglas die Anwendung bei allen exakten chemischen Analysen und Untersuchungen. Schließlich seine große Lichtdurchlässigkeit und der Umstand, daß es auch ultraviolette Strahlen durchläßt, macht es besonders geeignet für den Bau optischer und photographischer Instrumente, regt zu weiteren Versuchen auf dem Gebiete der Lichtheilverfahren an und macht wahrscheinlich, daß es gelingen wird, durch Einwirkung der ultravioletten Strahlen gewisse chemische Prozesse zu fördern bzw. zu beschleunigen.

All dies liegt aber gewissermaßen auf „exklusiven“ Gebieten, die, mit dem täglichen Leben in keiner unmittelbaren Berührung stehend, gar oft unterschätzt werden. Eine ungeahnt weite Anwendung würde jedoch dem Quarzglase bevorstehen, wenn die recht kühnen Prophezeiungen von Viktor Goldschmidt¹⁾ in seiner Abhandlung „Über Grenz- und Ultrafunktionen“ in Erfüllung gehen sollten. Der Gedankengang Goldschmidts ist etwa folgender: „Unser gewöhnliches Glas läßt die ultravioletten Strahlen nicht durch. Eine Folge ist, daß wir alle, die im Zimmer mit Glasfenstern leben, dieser Strahlen beraubt sind. Der Einfluß dürfte ein starker sein und wahrscheinlich ein ungünstiger. Es ist möglich, daß hierin eine der Ursachen liegt, warum die Zimmerbewohner blaß und matt sind, im Gegensatz zu denen, die in freier Luft leben. Stellt sich das heraus, so wäre ein Mittel: Hereinlassen des Lichtes durch offene Fenster, Beseitigung der Fensterscheiben, wo Wind und Wetter das gestatten, oder Ersatz des Glases durch Scheiben, die auch die ultravioletten Strahlen einlassen. Ein solches Glas ist geschmolzener Quarz, den die Industrie schon heute herstellt, wenn auch nicht für Fensterscheiben. Sollte sich aber seine Eigenschaft als Förderer

1) Annalen der Naturphilosophie von W. Ostwald, Bd. 6, Heft 2, S. 97, und Sprechsaal 1909, S. 519; sowie S. 548 mit einer Kritik hierüber von K. Stockhausen.

der Gesundheit und Schützer der Augen als so wichtig herausstellen, daß man den Ersatz der Glasscheiben durch Quarzgläser anstrebte, selbst wenn die Scheiben teurer sind, so ließen sich diese Scheiben beschaffen. Dies bedeutete eine Umwälzung in einem wichtigen Zweig der Industrie.“ Wenn auch dahingestellt werden soll, ob in absehbarer Zeit das Quarzglas tatsächlich dazu berufen sein wird, uns „unverfälschtes“ Sonnenlicht nach den Wohnungen zu vermitteln, so muß doch anerkannt werden, daß auf dem Gebiete der Lichterzeugung das Quarzglas sich nicht nur einen festen Platz bereits jetzt erobert hat, sondern daß die nächsten bedeutenden Fortschritte in der Beleuchtungstechnik wahrscheinlich erst durch die Anwendung von Quarzglas (Quarzquecksilberlampen) ermöglicht sein werden.

Vakuumquecksilberlampe von Arons.

Die von Leo Arons¹⁾ erfundene Vakuumquecksilberlampe besteht aus einem evakuierten Rohr aus gewöhnlichem Glas, das mit etwas Quecksilber beschickt und an beiden Enden mit stromzuführenden Drähten versehen ist; es kann darin mittels gewöhnlichen Stromnetz- oder Batteriestromes ein meterlanger Lichtbogen erzeugt werden, der beliebig lange brennt, keiner Wartung bedarf und sehr reich an chemisch aktiven (ultravioletten) Strahlen ist. Gar bald fand diese Lampe Eingang in die physikalischen Laboratorien. An eine allgemeine Verwendung dieser Lampe für Beleuchtungszwecke war jedoch gar nicht zu denken, da das Licht der Lampe nur wenig rote und gelbe Strahlen aufweist und daher alles in grün schimmernenden und fahlen Farben erscheinen läßt. Auch die Zündungsart der Lampe (durch langsames Kippen, bis das an der Kathode befindliche Quecksilber mit der Anode in Berührung kommt) eignete sich für die Handhabung durch das Publikum nicht.

Lampe von Hewitt.

Nach jahrelangen Bemühungen gelang es C. Hewitt, diese Lampe für eine breitere Verwendung geeignet zu machen. Er gab ihr die durch Fig. 191 veranschaulichte Form. Das Quecksilber befindet sich (wie bei sämtlichen Lampen dieser Art) an der negativen Stromzuführung (Kathode). Die Anode (*A*) ist gewöhnlich aus Eisen oder Graphit mit scharfen Kanten an der Austrittsstelle des Stromes. Die Zuführungsdrähte sind aus Platin. Die Lampen werden nur durch Gleichstrom betrieben. Die Oberfläche des Quecksilbers an der Kathode befindet sich während des Brennens der Lampe in fortwährender starker Wallung, und dort, wo der vom positiven Ende

1) Wied. Ann. Bd. 47 (1892), S. 767, und Bd. 58 (1896), S. 73. Die Zusammenstellung der einschlägigen Literatur findet man bei J. Stark, „Die Elektrizität in Gasen“, Winkelmanns Handbuch der Physik, 2. Aufl., Bd. II.

kommende Strom die Quecksilberoberfläche trifft, kann man geradezu eine Kraterbildung sehen. Die Lampe ist mit einer „Kühlkammer“ *k*, deren Wandung geschwärzt ist, versehen, um so die Wärmeausstrahlung zu erhöhen und dem Auge das Umherirren des Lichtbogens auf der Quecksilberoberfläche zu verbergen.

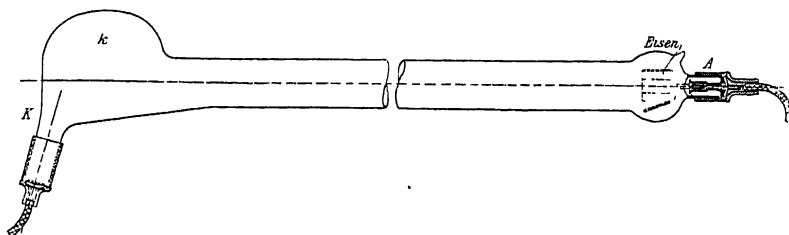


Fig. 191. Quecksilberlampe von Hewitt

Über die Temperatur, die im Inneren einer solchen Lampe herrscht, liegen die Versuche von Wills¹⁾ vor, der vier Thermoelemente in die Lampe einschmolz und so zu gleicher Zeit die Temperaturen an verschiedenen Stellen des über 120 cm langen

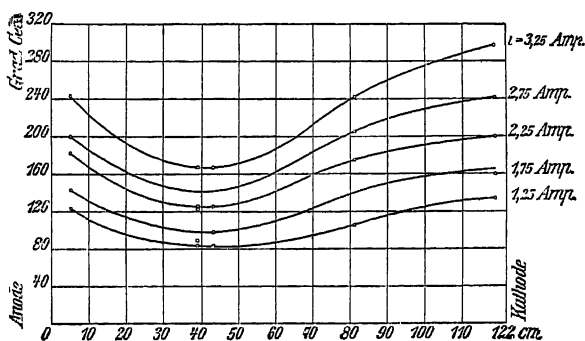


Fig. 192 Die an verschiedenen Stellen der Quecksilberlampe herrschenden Temperaturen

Quecksilberlichtbogens messen konnte. Er wiederholte dann diese Messungen bei Belastung der Lampe mit verschiedenen Stromstärken. Wie aus der Fig. 192, die die so erhaltenen Werte wiedergibt, ersichtlich ist, schwankt die Temperatur an verschiedenen Stellen ein und desselben Lichtbogens um etwa 150 ° C. bei dem

1) Nach den von Wills erhaltenen Zahlen zeichnete Jos Polak die hier abgebildeten Kurven. Zur näheren Orientierung über Quecksilberlampen sei auf einen zusammenfassenden Vortrag von Jos. Polak (Elektrotechn. Zeitschr. 1907, Heft 24 und 27) verwiesen, wo man auch die neue Literatur aufgezählt findet. Einige Angaben aus diesem Vortrage sind hier verwertet worden.

Höchstbeträge von etwa 300°. Viel höher ist die Temperatur an den Endpunkten des Lichtbogens; je nach dem Material, aus dem die Anode hergestellt ist, ist sie zwar verschieden, doch erreicht sie bei Nickel- und Eisenanoden etwa 700 bis 1000°. An der Kathoden-seite (an der „Lichtbogenbasis“) soll die Temperatur etwa 1600 bis 2000° betragen (daher die Notwendigkeit der Kühlkammer), und das Quecksilberbad selbst hat, je nach der Stromstärke, 90 bis 150°. Die Lichtausbeute („Ökonomie“) einer solchen Lampe beträgt anfangs etwa 0,3 Watt pro Hefnerkerze (ohne Vorschaltwiderstand); in den ersten 100 Brennstunden geht die Lichtstärke der Lampe, sei es, weil das Glasrohr sich färbt oder infolge der Verringerung des Vakuums durch Restgase, um etwa 15 bis 20% zurück, so daß man später mit dem Verbrauch von etwa 0,4 Watt für die Hefnerkerze (ohne Vorschaltwiderstände) und 0,6 Watt inklusive der Stromverluste in den Vorschaltwiderständen zu rechnen hat¹⁾.

Infolge der starken ultravioletten Strahlung der Lampe kann manganhaltiges Glas (vergl. die Versuche von F. Fischer, S. 219) nicht verwendet werden, da es sich sehr schnell färbt; am besten eignet sich bleireiches Glas, das für ultraviolette Strahlen am wenigsten durchlässig ist. Mitunter beobachtete man das Schwarzwerden des Glases, was auf Verunreinigungen in der Lampe zurückzuführen ist.

Die Lebensdauer der Lampe ist sehr groß, so garantiert die Cooper Hewitt Co.²⁾ für 2000 Brennstunden; in den meisten Fällen wird diese Zeit aber weit überschritten und erreicht manchmal 7000 Brennstunden und darüber, ohne eine allzu große Verminderung der Leuchtkraft.

Im allgemeinen stellt sich der spezifische Energieverbrauch (Ökonomie) einer Lichtquelle um so günstiger, je höher sie belastet

1) Vergleichshalber sei hier der ungefähre spezifische Verbrauch einiger elektrischer Lichtquellen angeführt (pro Hefnerkerze):

Glühlampen mit Kohlenfäden .	etwa 2,25 — 3,5 Watt,
Nernstlampen	„ 1,5 — 2,0 „
Osram-, Wolfram-, Siriusglühlampen	„ I „
Gewöhnliche Bogenlampen . .	„ 0,6 — 0,8 „
Intensivbogenlampen	„ 0,2 — 0,4 „
„Dauer“-Bogenlampen . . .	„ 1,5 — 2,0 „

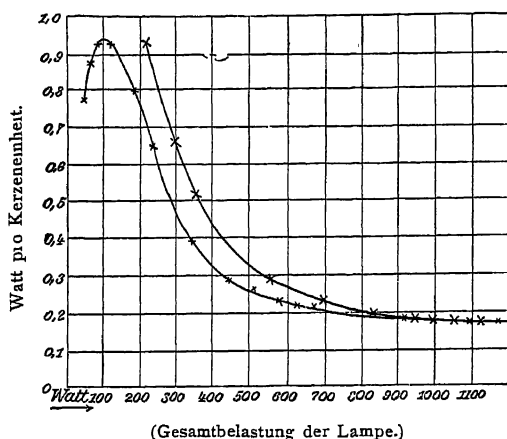
2) In Deutschland werden die Quecksilberdampflampen unter anderen von Schott & Gen. (Zündungssystem von Weintraub) in Jena und von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft (Zündungssystem von Steinmetz) hergestellt.

wird. Bei der Quecksilberdampf Lampe schien es nicht der Fall zu sein. Schickt man einen stärkeren Strom durch die Lampe, so steigt zwar ihre gesamte Lichtstärke, jedoch nicht in dem Maße als die Stromstärke. Die Frage schien auch vorerst von keiner erheblichen praktischen Bedeutung zu sein, denn bei zunehmender Stromstärke steigt auch die Temperatur in dem Glasrohr, und gar bald ist man an der äußersten Grenze, bis zu welcher man die evakuierte, mit nur ganz geringem, vom Quecksilberdampf herrührenden Innendruck (etwa 2 mm) fast im Erweichungsstadium befindliche Glasröhre beanspruchen kann. Die ungefähre Grenze ist erreicht, wenn der Spannungsabfall etwa 1 Volt auf 1 cm Lichtbogenlänge beträgt.

Richard KÜCH, dem die Quarzglas-technik bereits so viel zu verdanken hat, verfolgte die Lichtausbeute der neuen Lampe bei steigender Belastung, wobei er sich der Quarzglasröhrenbediente. Die von ihm in Gemeinschaft mit T. Retschinsky¹⁾

im Laboratorium der Firma Heraeus angestellten Versuche unter Anwendung fast konstanter Stromstärke (4,3 bis 4,8 Amp.) und steigendem Spannungsabfall ergaben in der Tat, „daß zunächst mit steigender Belastung der Lampe der spezifische Wattverbrauch größer, die Ökonomie schlechter wird. Etwa bei einer Belastung von 100 Watt erreicht der spezifische Verbrauch ein Maximum; darauf fällt die Kurve (Fig. 193) steil ab, um dann später abzufallen, ohne die fallende Tendenz bei den niedrigsten erreichten Werten zu verlieren“.

Aus diesen Versuchen geht hervor, daß man hier die höchste Lichtausbeute erlangt hat, die bisher überhaupt erzielt worden ist. Unter Berücksichtigung des Umstandes, daß die Messungen in der Richtung der maximalen Lichtausstrahlung stattfanden, und daß, wie



Quecksilber-
quarzlampe von
KÜCH.

Fig. 193. Wattverbrauch pro Kerzeninheit bei steigender Gesamtbelastung.

1) „Photometrische und spektralphotometrische Messungen am Quecksilberlichtbogen bei hohem Dampfdruck“, Ann. d. Physik 1906, Bd. 20, S. 563.

aus den Messungen der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt¹⁾ hervorgeht, die maximale Lichtausstrahlung der Lampe zur mittleren, räumlichen im Verhältnis 27:24 steht, ergibt es sich, daß während dieser Versuche die Ökonomie von 0,185 Watt für 1 Hefnerkerze erreicht ist, „ein Wert, der für größere Modelle mit größerer Energiemenge sich noch wesentlich erniedrigen wird“.

Bei niedriger Belastung der Lampe erfüllt der Lichtbogen den ganzen Rohrquerschnitt. Mit zunehmender Belastung schnürt sich der Bogen mehr und mehr ein und bildet einen Faden von schließlich etwa 5 mm Dicke.

Der bei verschiedenen Belastungen gemessene Quecksilberdampfdruck ergab folgende Werte:

Volt	Amp.	Druck in Zentimetern Quecksilber
36	2,78	0,2
40	3,15	0,6
60	4,10	3,8
67	4,20	9,0
96	4,50	19,1
114	4,50	29,5
140	4,80	47,7
174	4,80	76,5
188	4,80	89
202	4,80	100,5
220	4,45	121
249	4,40	150,0

Es fragt sich nun, ob man wenigstens annähernd denselben Nutzeffekt nicht auch mit Glasröhren erzielen könnte, was ja neben der bedeutenden Verbilligung der Lampen noch den erheblichen Vorteil hätte, daß man an den für die Augen so schädlichen, unsichtbaren, also für die Helligkeit bzw. Lichtausbeute der Lampe nicht in Betracht kommenden ultravioletten Strahlen armes Licht erhalten würde. Die von R. Küch und T. Retschinsky²⁾ aus-

1) Eine von der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt ausgeführte Messung einer Quarzlampe ergab folgende Resultate:

Spannung in Volt an den Polen der Lampe (ohne Vorschaltwiderstand)	Stromstärke in Ampere	Lichtstärke in Hefnerkerzen		Energieverbrauch in Watt auf 1 Hefnerkerze	
		horizontal, senkrecht zum Quarzrohr	mittlere räumliche	horizontal	mittlerer räumlicher
174	4,20	3080	2680	0,24	0,27
197	4,20	3580	3110	0,23	0,27

geführten Temperaturmessungen im Quecksilberlichtbogen ihrer Quarzlampe mittels drei übereinander eingeschmolzener, senkrecht zur Achse des Leuchtfadens angeordneter Thermoelemente (vergl. Fig. 194) schließen die Möglichkeit, Glaslampen so hoch zu belasten, jedoch völlig aus.

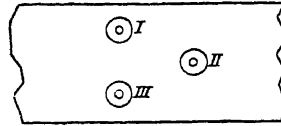


Fig. 194 Anordnung der Thermoelemente in der Quarzlampe.

Die in der Fig. 195 wiedergegebenen Resultate, die bei konstanter Stromstärke von rund 4 Amp. (3,92 bis 4,1 Amp.) und allmählich gesteigerter Stromspannung erhalten wurden, werden in der betreffenden Veröffentlichung wie folgt zusammengefaßt: „Man erkennt zunächst, daß ein Temperaturabfall vom Inneren des Leuchtfadens nach außen hin vorhanden ist. Man

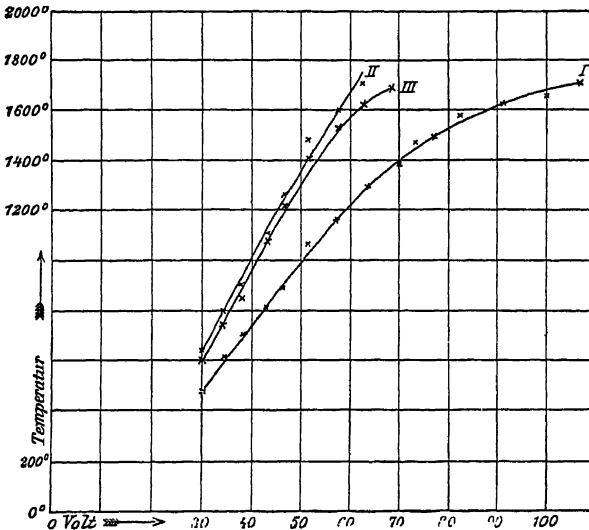


Fig. 195. Die an einzelnen Stellen des Lichtbogens innerhalb der Quarzlampe durch die drei Thermoelemente angezeigten Temperaturen.

bemerkt ferner, daß die Temperaturkurve des mittleren Elements im ganzen geradlinig ansteigt, daß die des unteren und noch mehr die des oberen allmählich abflacht. Hierin drückt sich die allmähliche Zusammenschnürung des Leuchtfadens mit zunehmendem Quecksilberdampfdruck aus. Das obere und das untere Element befindet sich mit steigender Spannung immer näher am Rande (Peripherie) des Lichtfadens. Die Ungleichheit in den Werten des unteren und oberen Elements bedeutet, daß beide Elemente nicht an genau korrespondierenden Stellen des Fadens sich befanden. Betrachtet man die

Werte des mittleren Thermoelements, so erkennt man, daß innerhalb des gemessenen Spannungsbereiches die mittlere Temperatur des Leuchtfadens mit der Spannung stetig wächst und bereits bei einer Spannung von 60 Volt 1700° erreicht.

„Wenn man annimmt, daß mit höheren Stromspannungen das Ansteigen der Temperatur in der gleichen Weise fortschreitet, so erhält man bei einer Spannung von 200 Volt bereits Temperaturen von 6000 bis 7000° . Wir konnten die Spannung in unserer Lampe indessen noch erheblich höher treiben.“

Auf diese Weise ist nun dem Quarzglas und der Quecksilberdampf-lampe ein neues weites Gebiet der Beleuchtungstechnik erschlossen worden.

Das für wissenschaftliche Zwecke verwendete Lampenmodell (Fig. 196) wird in der Weise gezündet, daß man den aus der Figur ersichtlichen Handgriff an der Anodenseite so

weit hebt, daß ein zusammenhängender Quecksilberfaden zur Kathode läuft. An einer Stromquelle von 220 Volt Spannung und 4 Amp. brennt die Lampe unter Vorschaltung eines regulierbaren Widerstandes von etwa 50 Ohm dauernd bei jeder Spannung zwischen etwa 25 und 175 Volt, je nach der Größe des vorgeschalteten Widerstandes. Die elektrische Charakteristik der Lampe ist außer von der elektrischen Belastung in erster Linie abhängig von größerer oder geringerer Kühlung der Elektroden. Je besser die Elektroden gekühlt werden, um so größer ist die Stromstärke der Lampe. Um deshalb kleinere Modelle zur Aufnahme größerer Energiemengen fähig zu machen, sind die Elektrodengefäße mit metallischen Kühlkörpern umgeben. Man kann durch Änderung der elektrischen Belastung einerseits und durch Änderung der Kühlung (etwa durch einen gegen die Elektrodengefäße gerichteten Luftstrom) andererseits der Lampe bei gleichbleibender Spannung andere Stromstärke und bei gleichbleibender Stromstärke andere Spannung geben.

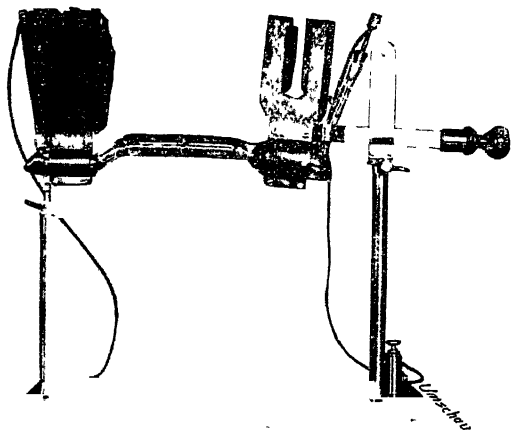



Fig 196 Quecksilberquarzlampe für Versuchszwecke

Die für die allgemeine Verwendung bestimmte Lampe erhielt einen durch die Fig. 197 veranschaulichten Brenner. Während die Quecksilberlampen aus Glas für 110 Volt Spannung etwa 110 cm lang sind und einen Durchmesser von 3 bis 4 cm haben, erfordern Quarzlampen für 110 Volt ein Leuchtrohr von kaum 8 cm Länge und 10 bis 15 mm Durchmesser, und für 220 Volt von etwa 15 cm Länge. Es ist deshalb möglich, die Quarzlampen in Armaturen einzubauen, die in ihrem Aussehen den bekannten Bogenlampen vollkommen gleichen. Eine solche, mit den zugehörigen Kipp- und Selbstregulierungsvorrichtungen und Vorschaltwiderständen ausgerüstete Quecksilberquarzlampe¹⁾ ist durch die Fig. 198 dargestellt.

Quarzlampe für
Beleuchtungs-
zwecke

Der Brenner ist an einer  förmig gebogenen Metallachse *ax* befestigt, die oberhalb des Leuchtrohres einen Reflektor trägt. Mit den an den Enden der Achse befindlichen Zapfen

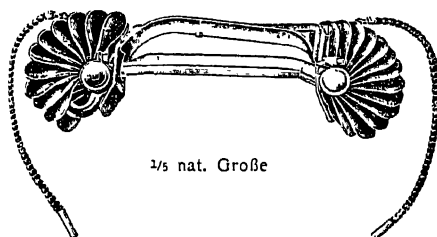


Fig. 197 Brenner einer Quarzlampe für 3,5 Amp. bei 110 Volt.

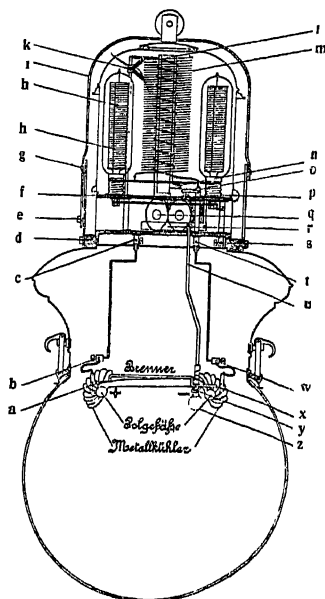


Fig. 198. Quecksilberquarzlampe für Beleuchtungszwecke

kann der Brenner in den am unteren Teil des Lampengehäuses vorhandenen Stützen drehbar gelagert werden. Seine Zuleitungen werden mit den unteren Klemmen *b* und *w* des Lampengehäuses verbunden; in die an dem einen Ende der Achse befindliche Öse *y* wird die aus dem oberen Teil der Lampe herabhängende Zugstange *u* eingehängt. Im mittleren Teil des Lampengehäuses ist zwischen den beiden Metallplatten *d* und *f* ein Nebenschlußelektromagnet *q* angebracht, an dessen Anker *r* die erwähnte Zugstange *u* befestigt ist. Auf der Platte *f*, oberhalb des Elektromagneten *q*, befindet

1) Modell der „Quarzlampen-Gesellschaft m. b. H.“, Pankow bei Berlin. Diese Lampe wird gebaut für 4 Amp. bei 110 Volt, sowie für 2,5 und 3,5 Amp. bei 220 Volt.

sich eine zylindrische Drosselspule l , umgeben von dem Rheotawiderstand m . Um diesen herum sind sechs Stück in luftleere Glaszylinder eingeschlossene Eisenwiderstände h angebracht, die miteinander parallel geschaltet, jedoch zusammen mit dem Rheotawiderstand, der Drosselspule und dem Brenner hintereinander geschaltet sind, während der Nebenschlußelektromagnet q dem Brenner parallel geschaltet ist. Die Drosselspule l dient dazu, die Lampe vor dem Verlöschen zu schützen, wenn die Betriebsspannung plötzlich stark herabsinkt. An ihrem unteren Ende trägt sie ein seitlich herausragendes Eisenstück n , dem ein kleines bewegliches Eisenstück o gegenübersteht. Dieses Eisenstück liegt in dem Stromkreis des Nebenschlußelektromagneten q und unterbricht diesen bei p , sobald es von dem Eisenstück n der Drosselspule hochgezogen wird. Wenn die Lampe eingeschaltet wird, geht durch den Brenner selbst kein Strom, weil zwischen den Quecksilberpolen keine Verbindung vorhanden ist; wohl aber geht Strom durch den ihm parallel geschalteten Elektromagneten q . Dieser zieht den unter seinen Polen liegenden Anker r hoch und kippt mittels der Zugstange u den Brenner um seine Drehachse, so daß Quecksilber vom positiven Polgefäß in das negative Polgefäß überfließen kann. Der nun entstehende Hauptstrom magnetisiert die Drosselspule l , die sofort das Eisenstück o anzieht und infolgedessen den Stromkreis des Nebenschlußelektromagneten q unterbricht. Dieser läßt sofort seinen Anker r los, der Brenner kippt wieder in seine Ruhelage zurück, und es entsteht nun im Leuchtrohr beim Zurückfließen des Quecksilbers vom negativen zum positiven Polgefäß der Lichtbogen zwischen den beiden Quecksilberpolen.

Kurz nach dem Zünden absorbiert der Brenner nur etwa 30 Volt und gibt deshalb wenig Licht. Erst wenn seine Polgefäße vollkommen durchgewärmt sind, nimmt er die volle Spannung auf (85 bis 90 Volt bei 110 Volt-Lampen, 165 bis 185 Volt bei 220 Volt-Lampen), dann erst erreicht er auch die volle Lichtstärke. Die Erwärmung der Polgefäße und die Steigerung der Leuchtkraft geht nun um so schneller vor sich, je höher der Strom ist, der den Brenner von Anfang an durchfließt. Deshalb sind dem Brenner Eisenwiderstände vorgeschaltet, die in luftleeren Glasbirnen eingeschlossen sind, und die einen stärkeren Strom hindurchlassen, solange die Brennerspannung noch niedrig ist. Hierbei werden die Glasbirnen der Widerstände merklich heiß. Wenn ein Widerstand dieses Merkmal nicht zeigt, vielmehr nach dem Einschalten der Lampe kalt bleibt, so ist er durchgebrannt und muß ersetzt werden; geschieht

dies nicht, so wird die Anfangsstromstärke in der Lampe zu gering ausfallen, und es wird dann sehr lange dauern, bis der Brenner genügend erwärmt wird; er wird also erst nach langer Zeit oder gar nicht auf seine volle Helligkeit gelangen.

Für diese Lampen wird eine Brenndauer von 1000 Stunden gewährleistet, sie wird jedoch in der Praxis weit übertroffen, und auch dann braucht nur der Brenner allein ausgewechselt zu werden. Nach allem, was bereits über Quarzglas ausgeführt worden ist, braucht kaum noch besonders hervorgehoben zu werden, daß das Brennerrohr mit Fingern nicht angefaßt und daß die Quarzlampe nie ohne Glasglocken gebrannt werden darf, da sonst das an ultravioletten Strahlen reiche Licht, selbst wenn es nur wenige Sekunden wirkt, auf den Hautgeweben und namentlich im Auge starke Entzündungen hervorruft.

Diese Wirkung der Lampe ist selbst für Heilzwecke meistens zu energisch, indem sie eine so heftige Entzündung der obersten Hautschicht hervorruft, daß die Lichtstrahlen, durch die entzündete Haut zurückgehalten, in die tiefer liegenden Schichten, wo meistens der Krankheitsherd sich befindet, nicht mehr eindringen können. Man bedient sich der medizinischen Quarzlampe in der Weise, daß man sie dicht auf die zu behandelnde Hautoberfläche anpreßt; dies ist natürlich nur dann möglich, wenn das Lampenrohr stark gekühlt wird; zu diesem Zwecke ist die Lampe mit einem Quarzglasmantel umgeben, durch welchen fortwährend Kühlwasser fließt. Nach Vorschlag von Professor Kromeyer¹⁾ wird dem Kühlwasser noch etwas Methylenblau zugesetzt, so daß der Lampe sowohl ihre Wärme wie ein Teil der ultravioletten Strahlen durch das etwa 0,01 % Farbstoff (Verdünnung 1 : 10000) enthaltende Kühlwasser entzogen wird. Diese Lampe soll bereits in sehr vielen Heilanstalten Eingang gefunden haben, da „sie in ihrer Wirkung die Finsenlampe wahrscheinlich übertrifft, die Behandlung viel größerer Flächen zu gleicher Zeit gestattet, ihre Applikation und Bedienung eine ungemein einfache ist und einen sehr geringen Stromverbrauch beansprucht“ (P. Wichmann). Das ganze Lichteilverfahren ist bekanntlich noch ganz jungen Datums, es kann daher von definitiver „Heilung“ kaum berichtet werden, da man doch mit der Möglichkeit der Rückkehr

Quarzlampe in
der Heilkunde.

1) Kromeyer, „Die Anwendung des Lichtes in der Dermatologie“, Berl. klin. Wochenschr. 1907, 3, 4 und 5. P. Wichmann, „Experimentelle Untersuchung über die biologische Tiefenwirkung des Lichtes der medizinischen Quarzlampe und des Finsenapparates“, Münch. med. Wochenschr. 1907, 28.

der Krankheit rechnen muß. Bei Erkrankungen an Lupus vulgaris sind zahlreiche und unzweideutige Erfolge erzielt worden; bei anderen Hautkrankheiten waren die erzielten Besserungen meistens nur vorübergehend; manchmal trat sogar eine Verschlimmerung ein. Dies trifft auch in bezug auf Behandlung des Haarausfalles zu. Erwähnenswert ist noch, daß die Haare, dem Lichte dieser Lampe ausgesetzt, dunkler werden. Die Hoffnung, daß man auf diese Weise vielleicht das Grauwerden der Haare aufzuhalten imstande sein werde, hat sich indessen nicht bestätigt.

Über die Versuche von Fr. Fischer, betreffend die Wirkung des Quarzquecksilberbogenlichtes auf Glas, vergl. S. 219.

Quarzlampe
für chemische
Zwecke.

Die Untersuchungen von H. Thiele¹⁾ über den Verlauf einer größeren Zahl von Reaktionen in Quarzglasgefäßen und unter Belichtung mit einer Quarzquecksilberbogenlampe (Nitrit, Wasserstoff-superoxyd, Ameisensäure, Verhalten von Knallgas, *HCl*, *KNO₃*, Methylalkohol) ergaben ebenfalls eine, wenn auch in sehr verschiedenen Graden starke Reaktionsbeschleunigung. Hierher gehört auch das Verfahren von A. Genthe (siehe „Nachträge“), Leinöl durch Bestrahlung mittels der Uviolampe zu bleichen und zu oxydieren.

Das Trocknen von Glanzleder, das bis jetzt ausschließlich im Sonnenlichte geschehen mußte, da alle anderen Licht- und Wärmequellen hier versagen, soll nach Bußmann im Quarzlampenlichte sich gut ausführen lassen.

Infolge des fahlen Lichtes der Lampe eignet sie sich für die Beleuchtung von Wohn- und Gesellschaftsräumen nur in Verbindung mit einer anderen Lichtquelle, z. B. zusammen mit Glühlampen. Nach O. Bußmann²⁾ bietet die Anwendung der Quecksilberquarzlampe überall dort, wo es sich um ausgedehnte Anlagen, wie Rangierbahnhöfe, Hütten- und Bergwerksanlagen und dergl., handelt, infolge der geringeren Wartung und Fortfall jedes Kohleneratzes viele betriebstechnische Vorteile und Ersparnisse an Materialien, Zeit und Löhnen³⁾. Dazu kommt noch die erhöhte Betriebssicherheit

1) Arch. f. Hyg., Bd. 57, S. 47; Chem. Zentralbl. 1906, II, S. 446; Ber. d. Deutsch. chem. Ges. 1907, S. 4914

2) „Die Quarzlampe von Dr. Kück, eine Quecksilberlampe für hohe Spannung, geringen Energieverbrauch und lange Brenndauer“, Elektro-techn. Zeitschr. 1907, 38

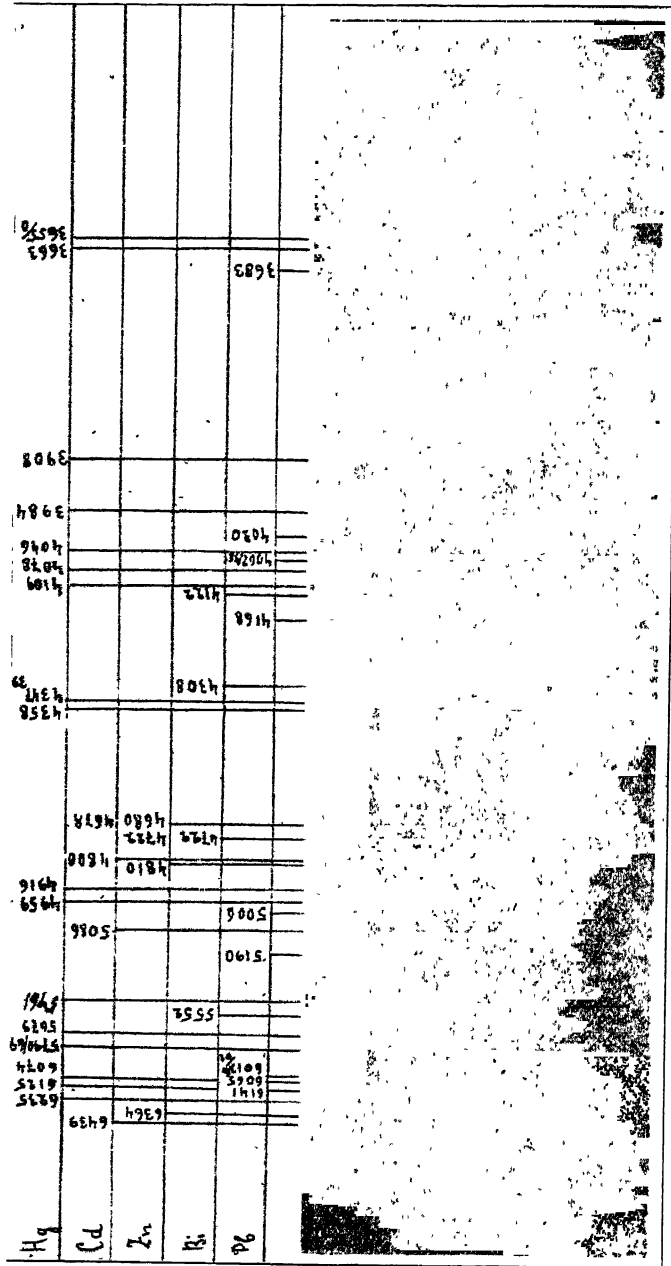
3) Die jährlichen Unterhaltungskosten einer Bogenlampe, d. h. an Lohn für Reinigung und Kohlenauswechslung inklusive des Kohleneratzes selbst (aber ohne Stromkosten) schätzt Bußmann auf 75 Mk. für halbnächtige und 150 Mk. für ganznächtigen Lampen.

auf den Bahnhöfen, da die geringe Intensität der roten Strahlen der Lampe die rote Farbe der Signallaternen in auffällig starker Weise hervortreten läßt. Die Tatsache, daß bei einer Lichtquelle, die wenig rote Strahlen enthält, das Auge weniger ermüdet wird und die Kontraste viel schärfer hervortreten, sichert die Einführung dieser Lampen in Werkstätten, Zeichensälen und Bureaus.

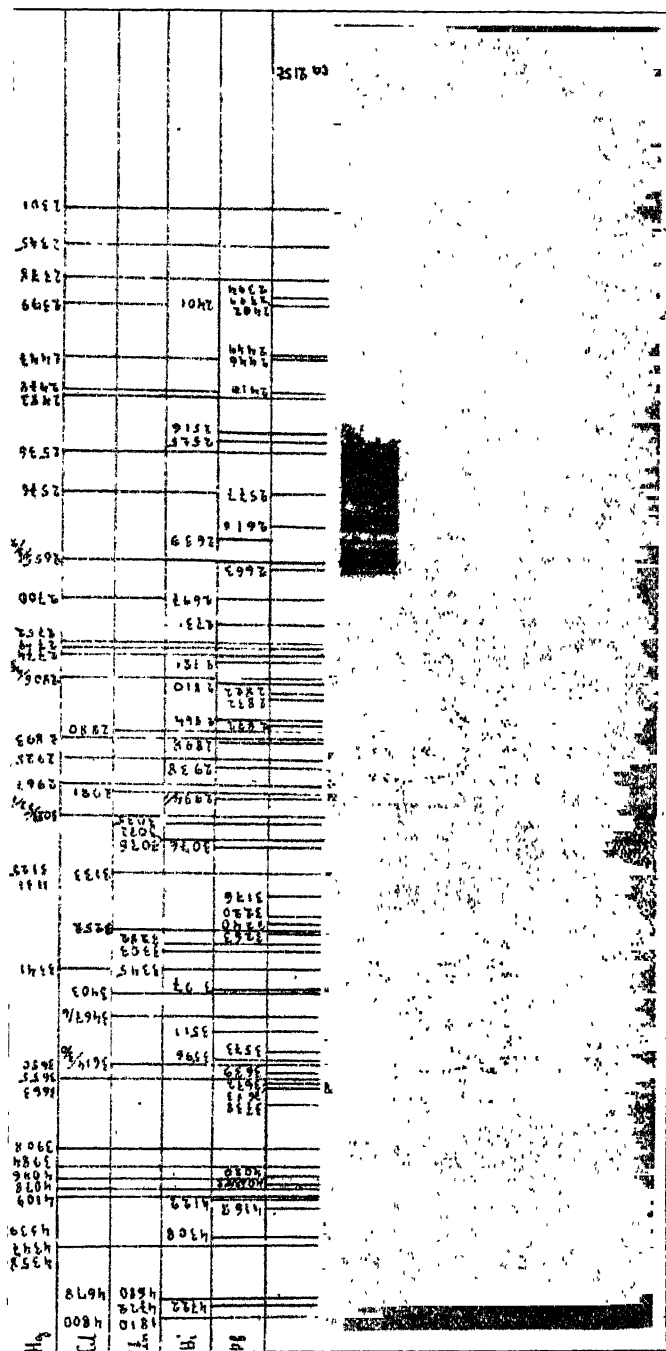
Bei Beleuchtung von Gärten und Parkanlagen wird die grüne Farbe der Pflanzen durch das Quecksilberlicht gehoben und nicht, wie bei Kohlenbogenlampen, abgestumpft. Auch die Einführung der Lampen für allgemeine Straßenbeleuchtung dürfte für den Straßenverkehr durch den Fortfall der Bedienung recht förderlich sein. Der Reichtum des neuen Lichtes an chemisch wirksamen Strahlen sichert demselben die Verwendung in Lichtpau- und photographischen Lichtanstalten, sowie für photographische Aufnahmen. Die Unempfindlichkeit des Quarzes gegen Temperaturunterschiede erlaubt ferner die Herstellung einer einfachen, stark leuchtenden Unterwasserlampe für Taucher, für die bisher nur Glühlampen benutzt wurden. Als einen der wesentlichsten Vorteile, die die Verbreitung dieser Lampe mit sich bringen wird, sieht Bußmann die Möglichkeit an, die Straßennetzspannung recht hoch (220 bzw. 440 Volt) zu halten, wodurch die Erzeugungskosten der elektrischen Energie sich viel geringer gestalten, als bei einer Spannung von 110 Volt, wie sie für die Metallfadenglühlampen notwendig ist.

Es kann jedoch nicht geleugnet werden, daß die Lampe in-
folge ihres fahlen Lichtes die Kohlenbogenlampen kaum gänzlich
ersetzen und für Beleuchtung von Wohnräumen nur in äußerst
beschränktem Maße sich Eingang verschaffen wird. Die Sachlage
würde sich mit einem Schlage ändern, wenn es gelingen würde, die
Lichtfarbe zu verbessern. Die sehr zahlreichen, in dieser Richtung
bis jetzt unternommenen Versuche schlugen fehl. Einen ermutigenden
Erfolg weisen auf diesem Gebiete die von Leo Arons ¹⁾ angeregten
und durch R. Kück im Laboratorium von Heraeus ausgeführten
Versuche mit Quarzglaslampen, die statt mit Quecksilber mit einem
Amalgam, enthaltend Quecksilber, Blei, Wismut, Zink und Cadmium,
beschickt wurden. Bei den in Lampen aus gewöhnlichem Glas
üblichen Belastungen zeigt das Spektrum auch bei Amalgam wesent-
lich nur die Quecksilberlinien; bei der hohen Belastung dagegen,

1) Leo Arons, „Eine Amalgamlampe mit reichem Linienspektrum“, Ann. d. Physik 1907, Bd 23, S. 176.



Tafel I Spektrum des $Hg-Cd-Zn-Bi-Pb$ -Amalgams durch ein Glasprisma



Tafel II Spektrum des Hg-Cd-Zn-Bi-Pb-Amalgams durch ein Quarzglasprisma.

wie sie nur die Quarzglaslampen vertragen, erscheinen auch die Spektren der anderen, im oben erwähnten Amalgam enthaltenen Metalle in großer Intensität, wobei freilich bald das Spektrum des einen, bald des anderen Metalles heller hervortritt. Die Tafeln I u. II geben die Spektren des mit dem Amalgam erhaltenen Lichtes wieder. Aus diesen Aufnahmen sieht man auch deutlich die Verschiedenheit in der Lichtdurchlässigkeit zwischen Glas und Quarzglas, da die Aufnahme I mittels Glasprisma und Linsen und die Aufnahme II mittels Quarzglasprisma und Linsen geschah.

chtr" .

Während der Drucklegung des Werkes sind zahlreiche Veröffentlichungen erschienen, die für den Leser Interesse bieten können. Über die wichtigsten dieser Neuerscheinungen soll hier kurz berichtet werden.

Zur Seite 22. Anknüpfend an die Versuche von Brogniart berichtet H. Bollenbach (Sprechsaal 1909, S. 332) über seine Versuche, Porzellan aus elementaren Bestandteilen herzustellen. Zuerst ersetzte er Kaolin durch ein Gemenge von Tonerdehydrat und Sand; dann wurde auch Feldspat durch eine durch Erhitzen von Tonerdehydrat, Pottasche, Salpeter und Sand gebildete Fritte ersetzt. Die nach dem Brennen erhaltene Masse wies keine Unterschiede gegenüber dem gewöhnlichen Porzellan auf.

Zur Seite 23. „Gießen der Tone“. Eine von M. Böttcher herrührende Dissertation (Dresden 1908) behandelt die „Verflüssigung des Tones durch Alkali“ (Sprechsaal 1909, Nr. 9 bis 17). Böttcher gelangt auf Grund seiner Versuche zu folgenden Schlüssen: Die Hydroxyde $NaOH$, $LiOH$, KOH , $CsOH$ und die Karbonate Na_2CO_3 , Li_2CO_3 , K_2CO_3 üben ihre verflüssigende und suspendierende Wirkung nur innerhalb ganz bestimmter, verhältnismäßig geringer Konzentrationen aus; überschreitet man diese, so werden die erst begünstigten Erscheinungen nachteilig beeinflusst. Eine Ausnahme von dieser Regel bildet allein Ammoniak, das in allen Konzentrationen gute Verflüssigung und beständige Suspensionen gibt. Zur Erreichung der besten Verflüssigung eines Tones braucht man fünf- bis sechsmal mehr an Karbonat, als an Hydroxyd.

Einen Apparat zur Messung der Viskosität von Tonschlickern beschreibt A. V. Bleining (Transactions of the Americ. Ceram. Soc. 1908, Bd. 10, S. 389, und Sprechsaal 1909, S. 272).

Zur Seite 31. Die Nachprüfung der Segerkegel in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt wurde durch Hoffmann fortgesetzt. Der Bericht hierüber auf der Jahresversammlung des

Vereins Deutscher Fabriken feuerfester Produkte, im März 1909 (Stahl und Eisen 1909, S. 440) kann leicht dazu führen, noch größere Verwirrung bei der Übersetzung der Segerkegel in Celsiusskala hervorzurufen, als es schon jetzt der Fall ist. Je nachdem wie die zur Temperaturmessung benutzten Thermolemente geeicht wurden, wurden für ein und dieselbe Temperatur bis um 100⁰ voneinander differierende Werte gefunden! Wiederum ein Beispiel, mit welchem Vorbehalt man die Celsiuswerte von hohen Temperaturen betrachten muß. Der Orientierung halber seien hier die von Hoffmann mitgeteilten Werte angeführt.

Seger- kegel	Erweichungstemperaturen		
	nach Schätzung der Chemisch-Technischen Versuchsanstalt bei der Könlgl. Porzellan- manufaktur in Berlin und des Tonindustrie- laboratoriums in Berlin (verg! S 30 und 31) Grad C	die in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt beobachtet wurden auf Basis der Skala von	
		Holborn-Day (Eichung mittels Porzellan- Luftthermometer bei 1100 ⁰) Grad C	Holborn-Valentiner (Eichung mittels Iridium-Luft- thermometer) Grad C.
Nummer			
14	1410	1420	1445
20	1530	1535	1580
26	1580	1575	1630
27	1610	1595	1660
28	1630	1605	1670
29	1650	1615	1685
30	1670	1630	1710
31	1690	1630	1710
32	1710	1660	1740
33	1730	1670	1760
34	1750	1690	1780
35	1770	1700	1800

Zur Seite 43. Im Anschluß an die kurz wiedergegebenen Werte von Theusner über die Schmelzpunkte der Hochofenschlacke sei auf seine ausführliche Veröffentlichung hierüber in der „Metallurgie“ 1908, S. 657, verwiesen. Die von Theusner ermittelten Zahlen stimmen mit den von Rieke und Mathesius angegebenen gut überein. Da die Kalkaluminat leichter schmelzbar sind, als die entsprechenden Kalksilikate, so nimmt die Schmelzbarkeit derartiger Gemische mit steigendem Kieselsäuregehalt ab. Das Sinken der Schmelzkurve nach der Kalktonerdelinie des Dreieckdiagrammes von Mathesius (S. 44) setzt aber erst unterhalb derjenigen Linie ein, welche von dem Punkte des Singulosilikates nach dem Tonerdepunkt hinführt. Die Schmelzpunkte auf dieser Linie bilden im Raum eine Reihe von höchsten Punkten, welche über die auf beiden Seiten von ihr liegenden wesentlich hinausragen. Allen Verbindungen dieser Punkte entspricht ein gleiches relatives

Verhältnis von Kalk zu Kieselsäure, nämlich dasjenige von $2CaO:SiO_2$. Es dürfte die Annahme gerechtfertigt sein, daß in allen diesen Verbindungen die Tonerde neutral bleibt, während Kalk und Kieselsäure sich zu der Verbindung $2CaO, SiO_2$ vereinigen. Erst dort, wo der Gehalt an Kalk das Verhältnis $2CaO:SiO_2$ übersteigt, wird die Tonerde aktiv; es bilden sich dann wahrscheinlich Aluminate, welche die Erniedrigung des Schmelzpunktes bedingen.

Zur Seite 46. „Das Verhalten des Kalziumsulfats allein und in Gegenwart von Kieselsäure, Eisenoxyd und Bleioxyd“ bildet den Gegenstand einer für den Keramiker, wie für den Metallurgen wichtigen Untersuchung seitens H. O. Hofmann und W. Mostowitsch (Bull. of the Amer. Inst. of Min. Eng., Januar 1909, S. 51 bis 76, und Sprechsaal 1909, S. 219), die sich jedoch nicht kurz wiedergeben läßt. Nur sei hier darauf verwiesen, daß in Gegenwart von Eisenoxyd die Zersetzung von $CaSO_4$ bei 1250^0 eine vollständige ist; das hierbei entstehende Kalziumterrit $CaO \cdot Fe_2O_3$ ist bei dieser Temperatur flüssig und hat die Neigung, frische Mengen von Kalziumsulfat aufzulösen und zu zersetzen. Magnesiumferrit bildet sich dagegen viel weniger leicht, jedenfalls erst oberhalb 1500^0 . Magnesiafutter wird daher, wie auch aus der Praxis bekannt ist, durch Eisen und Eisenoxyd lange nicht so schnell angegriffen, wie Kalksteinfutter.

Die Schmelzpunkte der verschiedenen Oxydationsstufen des Eisens liegen nach Beobachtungen von E. J. Kohlmeyer (Metallurgie 1909, S. 323) zwischen 1500 und 1600^0 ; die Schmelztemperaturen steigen mit zunehmendem Sauerstoffgehalt.

„Die Abhängigkeit der Viskosität der Silikatschmelzen von ihrer chemischen Zusammensetzung“ bildet den Gegenstand einer größeren Untersuchung von E. Greiner (Dissertation Jena 1907).

Zur Seite 49. Der ausführliche Bericht von S. Wologdine über seine Untersuchungen über die Porosität und Wärmeleitungsvermögen keramischer Produkte erschien in Revue de Métallurgie, Juniheft 1909, und ist im Sprechsaal 1909, Nr. 42 u. 43, ausführlich wiedergegeben.

Zur Seite 52. Die kurz erwähnten eingehenden Untersuchungen von A. S. Watts (Walls?) über den Einfluß der Zusammensetzung eines Porzellans auf sein elektrisches Isolationsvermögen sind im Sprechsaal 1909, S. 76, ausführlicher behandelt worden.

Zur Seite 66. Über den Aufbau von elektrischen Laboratoriumsofen mit Nickeldraht als Heizwiderstand machte M. Le Blanc auf

der XVI. Hauptversammlung der Deutschen Bunsen-Gesellschaft (Z. f. Elektrochemie 1909, S. 683) genaue Angaben. In den Öfen lassen sich Temperaturen bis 1000° leicht erreichen und auch längere Zeit aufrecht erhalten. Anlässlich dieser Mitteilung fand ein reger Meinungsaustausch über die Erfahrungen mit Nickel und Platin als Material für Heizwiderstände statt, wobei von mehreren Seiten auf das Brüchigwerden des Nickeldrahtes hingewiesen wurde. Für den gleichen Temperaturbereich (bis 1000°) hat sich nach Erfahrungen von W. Nernst ein in Asbest eingeschlagenes massives Kupferrohr, das mit 0,9 mm starkem Nickeldraht bewickelt wurde, ausgezeichnet bewährt.

Zur Seite 141. In einer Reihe von amerikanischen Patenten 906172/3 und 906338/9 beschreibt F. J. Tone die Gewinnung von reiner Tonerde und kieselsaurer Tonerde aus gewöhnlichen Tonen. Ein Gemenge von Ton und Eisenoxyd wird mit nur so viel Kohle gemischt, daß ein Eisensilizid sich bilden kann. Dieses Gemenge wird im elektrischen Ofen geschmolzen; das entstandene Eisensilizid ist durch eine Decke von flüssiger Tonerde überdeckt. Nimmt man noch weniger Kohle, so erhält man eine Art geschmolzenen Tonerdesubsilikats, das einen geringeren Kieselsäuregehalt aufweist, als es der Formel $Al_2O_3 \cdot SiO_2$ entspricht.

Erhitzt man ein Tonerdesilikat mit einer zur Reduktion der Kieselsäure genügenden Menge Kohle, so trennt sich das reduzierte Silizium leicht von der geschmolzenen Tonerde. Bedingung hierfür ist die Abwesenheit freier Oxyde, wie Eisenoxyd usw.

Die nach dem einen oder anderen dieser Verfahren erhaltene geschmolzene Tonerde wird unter dem Namen Aloxit für Schleifzwecke verwendet (Electrochem. a. Metallurgical Industry 1909, S. 192).

Zur Seite 169. M. Moldenhauer stellte Versuche an (Metallurgie 1909, S. 17), um nach dem Verfahren von Weber aus Ton Siliziumkarbid (Karbonund) und Tonerde zu gewinnen. Das erhaltene Produkt enthielt 29,6 % Aluminium, 3,5 % Eisen, 35,6 % Silizium und als Rest Kohlenstoff. Wasser entwickelt aus diesem Produkt nur geringe Mengen Gas; Salzsäure reagierte, je nach der Konzentration, heftiger, wobei die ganze Tonerde und das Eisen in die Salzsäurelösung übergingen.

Gelegentlich dieser und verwandter Versuche gelangt Moldenhauer zu der überraschenden Ansicht, daß die Verdampfungspunkte von Aluminiumoxyd und Kieselsäure nicht weit voneinander liegen. Diese Schlußfolgerungen erscheinen dem Verfasser als anfechtbar. Es mag sein, daß die Verdampfungstemperaturen von Aluminium

und Silizium im metallischen Zustand oder in Form von Siliziden annähernd zusammenfallen; das aufgefangene Kondensat besteht dann, wenn man bei Luftzutritt gearbeitet hat, aus Tonerde und Kieselsäure. Erhitzt man aber Gemische von Tonerde und Kieselsäure, so kann man die Kieselsäure zum großen Teil abtreiben (vergl. S. 48). Die Beobachtungen von Moldenhauer haben immerhin für die Praxis insofern Bedeutung, als man mit der Flüchtigkeit des Aluminiums bzw. der Tonerde zu rechnen hat, wenn bei sehr hoher Temperatur die Tonerde einer stark reduzierenden Atmosphäre oder gar der direkten Berührung mit Kohle ausgesetzt wird, denn dann sind alle Bedingungen zur Entstehung metallischen Aluminiums gegeben. Mit dieser Erscheinung ist auch bei Kohlengießöfen zu rechnen.

Neuerdings bestimmte H. C. Greenwood in einem elektrisch geheizten Kohlenrohrföfen mittels des Wanner-Pyrometers die Siedetemperaturen von Metallen und fand hierfür folgende Werte:

Aluminium . . .	1800	Magnesium . . .	1120
Antimon . . .	1440	Mangan . . .	1900
Blei . . .	1525	Silber . . .	1955
Chrom . . .	2200	Wismut . . .	1420
Eisen . . .	2450	Zinn . . .	2270
Kupfer . . .	2310		

(Electrochem. and Metallurgical Industry 1909, S. 408.)

Zur Seite 175. Nach R. Amberg (Z. f. Elektroch. 1909, S. 725) ist die elektrische Leitfähigkeit des Silunds etwa sechsmal geringer als die der Elektrodenkohle. Mit steigender Temperatur wächst die Leitfähigkeit, so daß bei etwa 1000° der elektrische Widerstand nur halb so groß ist als bei Zimmertemperatur. Die Höchsttemperatur seiner Anwendbarkeit liegt bei 1600°. Silund soll sich speziell zum Bau von Heizwiderständen eignen. Dagegen bietet es keine Vorteile als Ersatz für Porzellan oder Schamotte; es ist gasdurchlässig und in Berührung mit Schmelzen gibt es an diese den Kohlenstoff leicht ab.

Über „feuerfeste Materialien“ hielt L. Baraduc-Muller auf dem Londoner Kongreß für angewandte Chemie (Revue de Métallurgie 1909, S. 700 bis 729) einen groß angelegten Vortrag. Er verweist darin auf die dringende Notwendigkeit der systematischen Versuche in der Keramik. Diese Versuche sind allerdings erst durch Einführung von einfachen Pyrometern und elektrischen Laboratoriumsöfen erleichtert worden. Nach eingehender Erörterung der Bedeutung der Schwindungs-, Sinterungs-, Erweichungs- und Schmelz-

temperatur wird summarisch die Herstellung der einzelnen Gattungen feuerfester Produkte behandelt, und zwar aus 1. Tonerdesilikat als Hauptbestandteil, 2. reiner Tonerde, 3. Kieselsäure, 4. Magnesia, 5. Karborund, 6. Chromit und 7. Kohlenstoff. Angesichts der immer höher steigenden Ansprüche seitens des Hauptverbrauchers der feuerfesten Produkte — der Eisen- und Stahlindustrie — in bezug auf hohe Feuerfestigkeit und Unempfindlichkeit gegen Temperaturwechsel wird die keramische Industrie nach Ansicht Baraduc-Müllers nicht umhin können, nicht nur ihre Fabrikation und die Reinheit der Rohstoffe viel sorgfältiger zu überwachen, sondern neue Fabrikationsmethoden eventuell unter Anwendung von elektrischen Öfen ausfindig zu machen.

Zur Seite 208. Betreffs Jenaer Glas sei hier auf das Buch von E. Zschimmer, „Die Glasindustrie in Jena, ein Werk von Schott und Abbe“, Jena 1909, verwiesen.

Zur Seite 214. Bereits im Jahre 1906 wies A. Genthe in seinen „Beiträgen zur Kenntnis des Leinöltrockenprozesses“ (Zeitschrift f. angew. Chemie 1906, S. 2087) darauf hin, daß unter Bestrahlung mit einer Uviollampe das Trocknen der Leinölanstriche sich schneller vollzieht, als ohne die Lampe. Diese Beobachtung führte zum Entstehen eines Verfahrens, Leinöl unter fortwährender Belichtung mit Uviollampen zu bleichen und einzudicken (D. R. P. 195663), das nach Mitteilung von K. Hahn (Zeitschr. f. angew. Chemie 1908, S. 1441) in der Uviolölfabrik in Langelsheim bei Goslar ausgeübt wird. Die Lampen bestehen aus hochevakuierten Röhren aus Uviolglas, die etwas Quecksilber enthalten. Die Stromzuführungen enden in zwei Kohlenknöpfchen. In jedem Bottich, mit etwa 1000 kg Leinöl, befinden sich etwa 20 solche Lampen, die mit Schutzhöhren aus Uviolglas umgeben sind. Um 100 kg Rohöl zu bleichen, sind etwa 6 Kilowattstunden erforderlich.

Nach einem Vorschlage von Kühne soll Schwefelsäure technisch in der Weise hergestellt werden können, daß man in Fabrikationstürmen Uviollampen brennen läßt, wobei SO_2 , H_2O und O glatt in Schwefelsäure übergehen. Nach Ansicht von F. Quincke ist jedoch dieses Verfahren aussichtslos (Zeitschr. f. angew. Chemie 1909, S. 2029).

In einer Sonderschrift des Jenaer Glaswerkes wird die Anwendung der Belichtung mittels der Uviollampe für Heilzwecke bei akuten und chronischen Hautkrankheiten, sowie bei Krankheiten des Stoffwechsels und der Zirkulationsorgane geschildert.

Nach einer Privatmitteilung der Schottischen Glaswerke weisen einige der Jenaer Glasarten folgende Durchlässigkeitsfaktoren bei einer Glasdicke von 1 mm auf.

Bei der Wellenlänge von	Rotfilter F. 4512	Gelb dunkel F. 4313	Gelb mittel F. 4351	Schwerstes Flint wie 0,198	Gelbfilter F. 4937	Uviol-glas
644 μ	0,939	0,975	0,979	0,998	1,000	
578 "	0,049 8	0,966	0,973	0,996	1,000	
546 "	0,017 9	0,933	0,964	0,996	0,996	
509 "	0,001 8	0,832	0,927	0,997	0,988	
480 "	0,000 31	0,094	0,441	0,993	0,742	
436 "	0,000 03	0,021	0,146	0,956	0,403	
405 "		0,012	0,096	0,807	0,308	
384 "				0,569	0,284	1,000
361 "					0,221	0,997
340 "					0,183	0,995
332 "					0,135	0,989
309 "					0,063 9	0,786
280 "					0,000 615	

Gegen die Wirkung der ultravioletten Strahlen bzw. die Wirkung sehr stark violetten und blauen Lichtes der grellen Lichtstrahlen, sowie Weißglut der autogenen Schweißung empfiehlt die Firma, je nach der Stärke der gewünschten Absorption, die Anwendung einer dieser fünf Glassorten, die in verschiedenen Dicken hergestellt werden.

Denselben Gegenstand — die Schutzwirkung verschiedener Gläser gegen ultraviolette Strahlen — behandeln die Versuche von W Voegel vom Physikalischen Staatslaboratorium in Hamburg (Elektrotechn. Zeitschr. 1909, S. 512). Das größte Absorptionsvermögen für Strahlen, die dem Auge schädlich sind, zeigten:

I Für Arbeiten und Untersuchungen am elektrischen Lichtbogen:

- a) Rotes Rubinglas;
- b) dunkles Hallauerglas. Wenn das letzte Glas nicht dunkel genug ist, wird es zweckmäßig doppelt genommen oder mit einem blauen Brillenglas kombiniert.

II. Für Arbeiten an weniger intensiven Lichtquellen (Gasglühlicht, Quecksilberlampe usw.):

- a) Euphosglas;
- b) Hallauerglas;
- c) gelbes Jenaer Schutzglas.

III. Für Arbeiten, bei welchen stark ultraviolettes Licht benutzt wird, und wo es doch auf Farbenunterscheidung und Unterscheidung der Einzelheiten ankommt (z. B. photographische Arbeiten, Bleichen von Farbstoffen usw.):

- a) klares Jenaer Schwerflintglas;
- b) Hallauerglas Nr. 62;
- c) Euphosglas in ganz dünnen Platten.

Zur Seite 217. Über angebliche, wenn auch geringe Durchlässigkeit des Glases bei gewöhnlicher Temperatur für viele Gase und Dämpfe, namentlich Joddampf, berichtet C. Zenghelis (Zeitschrift f. physik. Chemie, Bd. 65, S. 341). A. Stock und H. Heynemann (Ber. d. Deutsch. chem. Ges. 1909, S. 1800) stellten Kontrollversuche an, indem sie z. B. Glaskolben 3 Monate lang der Wirkung der Joddämpfe aussetzten, ohne auch nur im geringsten die Bestätigung der Angaben von Zenghelis festzustellen.

Zur Seite 218. R. A. Gortner setzte, im Verein mit Olway (Americ. Chem. Journ. 1908, S. 157; Sprechsaal 1909, S. 459), 22 farblose Gläser verschiedener, zum Teil auch deutscher Provenienz der Sonnenbestrahlung in Lincoln in einer Höhe von etwa 400 m über dem Meeresspiegel und 25 m über dem Erdboden aus. Nach einem Monat war nur bei vier Gläsern eine Violettfärbung bemerkbar, nach 8 Monaten dagegen blieben nur vier Gläser weiß. Im allgemeinen erwies sich der Grad der Färbung proportional dem Mangangehalt. Allerdings blieb ein Erlenmeyer-Kölbchen aus Jenaer Glas mit 0,072 % Mangan auch nach 11 Monate langer Belichtung farblos.

Zur Seite 219. Wie bereits E. Warburg und F. Tegetmeyer in den 80er Jahren festgestellt haben, lassen sich viele Metalle in festes Glas einführen, wenn man die beiden Seiten der Glaswandung mit Amalgamen belegt und diese an eine Gleichstromquelle anschließt. Es findet eine regelrechte Elektrolyse statt. Die gleichen Beobachtungen wurden auch an einer Bergkristallplatte gemacht. Die Versuche wurden bei 300° ausgeführt. Neuerdings nahm Ad. Heydweiller, zum Teil in Gemeinschaft mit F. Kopfermann, diese Versuche wieder auf (Sprechsaal 1909, Nr. 27 u. 28) und erzielte bessere Resultate, indem statt der Amalgame Salze, deren Metalle eingeführt werden sollten, angewendet wurden. Gearbeitet wurde bei Temperaturen von 200 bis 550°; die Stromstärken betrugen bei verschiedenen Versuchen zwischen 0,001 bis 0,25 Amp. Die mitgeteilten Versuche erstrecken sich auf die Metalle *Na*, *K*, *Ag*, *Cu*, *Pb*, *Sn*, *Fe*, *Ba*, *Sr*, *Au*, *Ur*, *Pt* und wurden an Natrium- und Kaliumgläsern aus der Fabrik von F. Schilling in Gehlberg angestellt.

Zur Seite 316. Nach P. Schoen (Metallurgie 1908, S. 635) empfiehlt es sich, bei Arbeiten unterhalb 1000° zum Schutz der

Thermoelemente Quarzglasrohre anzuwenden, da die Temperaturmessungen dann viel genauer ausfallen und das Quarzglas sich im Gebrauche viel billiger stellt als Porzellanröhren. Bei Arbeiten bei höherer Temperatur ist man dagegen nach wie vor auf Porzellanrohre angewiesen. Der Mitteilung ist eine Reihe Vergleichsmessungen mit in Quarzglas- und in Porzellanröhren befindlichen Thermoelementen beigefügt.

V r i c h n i s s d e r b e r e c h t l i c h e n P a t e n t e .

Deutsche Patente.		Pat.-Nr.	Seite	Pat.-Nr.	Seite
Pat.-Nr.	Seite				
17736	222	170874	302	22245	226
85021	136	171309	187	25609	227
101176	223	172466	300	27642	122
104928	189	173066	175		
113817	190	174509	310	Britische Patente.	
118208	171	175385	299	13095, 1892	116
122840	171	175867	304	17091, 1892	112
124702	226	176512	312	259, 1893	111
128250	227	177252	177	19184, 1894	126
128535	170	179211	177	6944, 1898	223
131291	227	179390	147	13049, 1898	170
134935	226	179570	299	23990, 1899	224
135553	138	183133/4	175	24148, 1899	224
138416	225	186383	122	5242, 1900	170
142152	67	188499	145	12672, 1900	226
143901	138	189320	153	12673, 1900	227
144913	191	190226	304	14572, 1900	138
145980	192	192343	254	16529, 1900	137
148457	187	193367	195	23903, 1900	227
150700	259	194949	153	16122, 1901	170
151278	245	195533	176	17656, 1901	237
151657	237	195663	340	25756, 1901	259
153295	257	195772	153	2260, 1902	138
153503	193	197663	215	22898, 1902	181
155513	21 u. 179	197698	27	24235, 1902	122
156756	157 u. 300	201404	21	10194, 1903	115
157371	115	201987	148	10670, 1904	306
157464	303	203712	304	13707, 1904	176
158336	141	204537	105 u. 311	18437, 1904	307
158496	175	204853/4	105 u. 311	17890, 1905	180
159193	175	209421	300	21347, 1905	177
159361	303	Oesterreichische Patente.		15539, 1906	145
160780	144	3278	226	16714, 1906	146
161461	123	25133	119	5751, 1907	105
164276	172			5764, 1907	311
164619	303	Schweizerische Patente.		Französische Patente.	
167023	250	16354	223	275627	323
168574	303	21930	226	302388	226
169958	306	22244	227	306704	227
170234	307				

Pat.-Nr.	Seite	Pat.-Nr.	Seite	Pat.-Nr.	Seite
313917	237	579324	125	734125	259
318174	138	590057	116	745863	259
320256	112	615648	170	762270	249
320659	114	628288	174	772262	180
323831	257	650234/5	170	773821	159
326073	122	656708	174	775031	251
329778	178	664034	223	775282	186
329822	258	677070	258	775654	140
331740	115	677207, 8, 9	138	778286	192
332770	151	678732	138	785841	151
355824	251	684296	107	796459	180
357639	180	698766	226	798258	249
392232	171	700673	141	800181	194
5382, Zus.-Pat.	151	702081	227	800515	165
		706283	227	801296	175
		706553	138	801378	193
Norwegische		708309	237	805303	300
Patente.		709808	180	805304	302
14585	254	711319	188	806690	123
		713923	248	839983	318
Patente der		716008	170	860477	166
Vereinigten Staaten		722411	247	869114	177
von Amerika.		722792/3	178	906172/3	338
433254	259	728528	169	906338/9	338
494586	116	723631	178	908130	181
511459	124	726860	115	908357	165

A t r r i t r.

- Abbe, Vervollkommnung optischer Gläser 204.
 —, Quarzglas 290
 —, siehe außerdem Zeiß-Stiftung und Schottische Glaswerke.
 Acheson, Zusatz von Gerbstoffen zu Tonmassen 21.
 —, Künstlicher Graphit 161.
 —, Herstellung von Karborund 164.
 —, Verarbeitung des Karborundes 170.
 —, Siloxikon 178.
 Allen, Kalkkieselreihe 38
 —, Künstliche Feldspate 46
 —, Elektrische Heizvorrichtungen 76.
 —, Schmelztemperatur der Kieselsäure 294.
 Amberg, Silund 339.
 Ampère-Electrochemical-Co, Künstlicher Korund 139.
 Arloffer Tonwerke, Mit Karborund überzogene Steine 171.
 Arndt, Versuche mit Gerätschaften aus Magnesia 152.
 Aron, Beziehungen zwischen Feuerfestigkeit und Zusammensetzung der Tone 35.
 Arons, Quarzquecksilberlampe 288.
 —, Quecksilberlichtbogenlampe 320.
 —, Spektren der Quarzamalgalampen 331.
 Ascherl, Knallgasheizung für Glasöfen 265.
 Askenasy, Glasieren mittels Lichtbogen 185.
 —, Gegenstände aus geschmolzenen Oxyden 193.
 Auerbach, Elastizität und Härte des Quarzglas 292. 293.
- Austin, Verhalten der Schamotte bei wiederholtem Erhitzen 49.
 —, — — Quarzglasrohre 317.
 aird & Tatlock, Quarzglas 276. 283.
 Baraduc-Muller, Feuerfeste Produkte 339.
 Baxter, Schmelztiegel aus Quarzglas 314.
 Becker, Elektrische Glasschmelzöfen 223 225. 250
 Becker & Co, siehe Gesellschaft zur Verwertung der Patente für Glas-erzeugung auf elektrischem Wege Becker & Co.
 Bell, Zweifel an der Durchführbarkeit der Quarzglasschmelzerei 269.
 —, Korundhaltige Porzellanmassen 148
 Benjamin, Elektrischer Glasschmelzofen 249.
 Berdel, Rationelle Analyse 35.
 Berthelot, Gasdurchlässigkeit des Glases 217.
 —, — — Quarzglas 287 316.
 —, Geräte aus Quarzglas 314.
 Birkeland, Elektrische Glasschmelzöfen 253.
 Bischof, Tonanalyse 35
 —, Beziehungen zwischen Zusammensetzung und Feuerfestigkeit der Tone 35.
 —, Devillescher Gebläseofen 58.
 —, Tonerdekieselsäurereihe 36.
 Bliss, Borkarbid 177.
 Blondel, Einfluß der ultravioletten Strahlen auf das Auge 215.

- Blount, Quarzglasgeräte für analytische Zwecke 314.
 Boehringer & Söhne, Korundhaltige keramische Massen 141. 144.
 — —, Dynamidon 151.
 Bölling, Silund 175.
 Bolle & Co., Elektrische Öfen 105.
 — —, Schmelzen von Sand und Quarz 305. 311.
 Borchers, Elektrische Öfen 18.
 —, Kohlengrießöfen 98.
 —, Elektrischer Ofen mit gegen Stromwirkungen geschütztem Tiegel 102.
 Bottomley, Schmelzen und Verarbeiten von Sandglas 305.
 —, Metalleinfassungen für Quarzglas 312.
 —, Über Sandglasgefäße 315.
 Boudouard, Kalk-Kieselsäurereihe 37.
 —, Kalktonerde-Kieselreihe 42. 43.
 Boys, Herstellung von Fäden aus geschmolzenen Mineralien 268.
 Brede, Schmelzen von Quarz und Sand 302.
 Bristol, Quarzglas zum Bau elektrischer Ofen 318.
 Brogniart, Ersatz von Mineralien durch künstliche Präparate 22. 335.
 Bronn, Kohlengrießöfen 79. 242.
 —, Brennen von keramischen Waren 119.
 — —, Faden für Glühlampen 121.
 —, Elektrischer Kanalofen 122.
 —, Tonerdedarstellung 132.
 —, Elektrisches Schmelzen von Glas 228.
 —, Regulierbarer Kohlengrießwiderstand 245.
 —, Schmelzen von Sand 280.
 Brun, Versuche, Quarz zu schmelzen 290.
 Buchner, Korund zur Herstellung keramischer Massen 141. 144. 145.
 —, Diamantin 149.
 Burgeß, Temperaturen im Lichtbogen 65.
 Bußmann, Quarzquecksilberlampe 330.
 Callendar, Geschmolzener Quarz 268.
 —, Wärmeausdehnung des Quarzglases 278.
 Carborundum Co., Karborund 164. 168.
 Carrère, Zement- und Röstofen 115.
 Chappuis, Gasdurchlässigkeit des Quarzglases 287.
 —, Dichte des Quarzglases 291.
 Chemisches Laboratorium der Tonindustrie-Zeitung, siehe auch Cramer, Hecht, Hirsch
 — — — —, Faulen der Tone 21.
 — — — —, Segerkegel 27.
 — — — —, Devillescher Gebläseofen 58.
 — — — —, Kohlengrießöfen 99.
 — — — —, Diamantin 149.
 Chemisch-Techn. Versuchsanstalt bei der Königl. Porzellan-Manufaktur in Berlin, siehe auch Berdel, Koerner, Marquardt, Rieke, Seger, Simonis.
 — — — —, Zusammensetzung der Segerkegel 28.
 — — — —, Kohlengrießöfen 87.
 — — — —, Erfahrungen mit den neuen Versatzmitteln 182.
 Clerc, Kalzinierofen 112.
 Colson, Kohlenstoffoxydsilizium 178.
 Cramer, siehe auch Chemisches Laboratorium der Tonindustrie-Zeitung.
 —, Leicht schmelzende Segerkegel 28.
 —, Kaolin-Kalkreihe 40.
 —, Flüchtigkeit „feuerfester“ Oxyde 48.
 —, Druckfestigkeit der Schamottesteine 76.
 —, Quarzglasmuffel 315.
 Crompton, Kalzinierofen 111.
 Crookes, Manganhaltiges Glas 218.
 — anneel, Thermitverfahren 19.
 Davis, Brennmuffel 126.
 Day, Kalkkieselreihe 38.
 —, Erweichungstemperatur künstlicher Feldspate 46.

Day, Einige elektrische Heizvorrichtungen des Geophysikalischen Laboratoriums 76

—, Schmelztemperatur der Kieselsäure 294.

—, Blasenfreies Quarzglas 296.

Deutsche Gold- und Silber-Scheide-Anstalt, Gerätschaften aus geschmolzener Magnesia 151. 190.

Deutsche Quarzgesellschaft 311.

Deutsche Steinzeugwarenfabrik für Kanalisation und chemische Industrie, Korundhaltige keramische Massen 141

Diamantinwerke, Diamantin 149.

Doelter, Erweichungstemperatur einiger Feldspate 46.

Dorsemagen, Gewinnung von Karborund und Zink 170.

Dowsing, Kalzinierofen 111.

Drake, Zusammenlöten von Glasplatten 259

Dralle, Glasmaschinen 200.

Dufour, Herstellung und Verwendung von Quarzglas 266 269.

Dynamidon, G. m. b. H. 151.

astman, Ausdehnung geschmolzener Magnesia 156.

Ebert, Anleitung zum Glasblasen 221.

Eddy, Porzellanrohre als Heizwiderstand 258

Elster, Quarzglasschliffe für Vakuumrohre 318.

Engelhardt, Induktionsöfen 18.

—, Elektrolyse des Wassers 262.

Engelhorn, Zusammengesetzte korundhaltige Versatzmittel 146.

Engels, Schutzüberzug aus Karborund 171.

—, Karborundglasur 186.

Eyde, Elektrische Glasschmelzöfen 253.

Fabrique de Carborundum la Bathie, Elektrit 140.

— — —, Siliziumkarbid 169.

Fahrney, Brennen von Kalk und Ton 116

Féry, Pyrometer 61.

Féry-Langlet, Graphitspirale als Heizwiderstand 107.

Feuerfeste Industrie, Karborundzement 174.

Fischer, Kalorimeter 26.

—, Manganhaltiges Glas 219.

Fitz-Gerald, Künstlicher Graphit 161.

—, Karborund 164. 165.

—, Verarbeitung des Karborunds 170.

Focke, Wärmeleitung des Glases 209.

Ford, Heizbarer Poliertisch für Spiegelglas 259.

Fourcaults, Ziehen von Fensterglas aus dem Wannenofen 252

Franklin, Elektrischer Glasschmelzofen 251

Friese, Porzellan in der Elektrotechnik 25.

Frolich, Elektrisch leitende Glasurschichten 187

Gabreau, Lichtbogenbeheizung für Tiegel 257.

Gacon, Schmirgellersatz 151.

Gallé, Überfangglaser 220.

Gardner, Karborundwiderstände 177.

Garuti, Elektrolyse des Wassers 262.

—, Knallgasöfen für Glas 263.

Gaster, Verarbeitung von Siloxikon 180.

Gaudin, Faden aus geschmolzenem Quarz und anderen Mineralien 266.

Gautier, Thermometer und Röhren aus geschmolzenem Quarz 268.

Gebr. Siemens & Co, Karbosilizium 177.

Geitel, Quarzglasschliffe für Vakuumrohre 318.

Genthe, Uviollampen zum Eindicken von Leinol 340.

Geschwind, Tonerdefabrikation 133.

Gesellschaft zur Verwertung der Patente für Glaserzeugung auf elektrischem Wege Becker & Co. 119 226.

Gifford, Quarzglas für optische Zwecke 276

Gintl, Schmelzen von Bauxit 133.

Girod, Tiegelofen 258.

- Glaser, Ofen aus Nernstmasse 107.
 Goldschmidt, Thermitverfahren 19.
 133 189
 —, Tiegel mit Korundausfütterung 147
 —, Anwendungsmöglichkeiten des Quarzglas 319.
 Goodwin, Elektrische Leitfähigkeit des Porzellans 155.
 —, Geschmolzene Magnesia 154
 Gorham, Zusammenlöten von Glasplatten 259
 Gortner, Glasfärbung bei Belichtung 342.
 Gow, Warmhalten des Glases während des Walzens 259.
 Granger, Temperaturabstand zwischen den Erweichungs- und Erstarrungspunkten von Schmelzen 207.
 Greenwood, Siedetemperatur der Metalle 339.
 Greiner, Viskosität der Silikatschmelzen 337
 Gruber, Kostenvergleich für die auf verschiedene Weise erzeugte Wärme 13.
 Guntz, Widerstandsofen 66.
 Haagn, Iridiumofen 74.
 —, Einfluß der ultravioletten Strahlen auf die Augen 215.
 —, Sieden von Metallen in Quarzglasröhren 286.
 —, Widerstandspyrometer aus Quarzglas 317.
 Haanel, Wahrnehmungen an elektrischen Roheisenöfen 84.
 Haber, Elektrolyse des Porzellans 55.
 —, Alundum 140.
 Hadaway, Brennmuffel 125.
 Hahn, Einfluß der ultravioletten Strahlen auf das Auge 215.
 —, Entglasen des Quarzglas 295.
 —, Uviolampen zum Eindicken von Leinol 340.
 Hall, Tonerdegewinnung 138.
 Harker, Schmelzpunkt von Platin 32.
 —, Zirkonoxydofen 107.
 Hart, Hohlkörper aus geschmolzenen Oxyden 193.
 Hase, Wanners Pyrometer 62.
 Haßlacher, Ofen zum Schmelzen von Schmirgel 136.
 Hauke, Elektrischer Glasschmelzofen 250.
 Haworth, Elektrische Eigenschaften des Porzellans 53.
 Hecht, Erweiterung der Segerschen Kegelskala 28.
 —, Unverschiebbarkeit der Segerschen Kegelskala 33.
 Heinecke, Heinecketiegel 95.
 —, Tonerde-Magnesiamasse 152.
 Hempel, Widerstands- und Lichtbogenofen 70.
 Henning, Warmausdehnung des Quarzglas 289.
 Heraeus, Schmelzpunkte von Tonen 45.
 —, Ofen mit Folienumwicklung 67.
 —, Iridiumofen 73. 74. 78.
 —, Druckfestigkeit keramischer Produkte 76
 —, Einfluß der ultravioletten Strahlen auf die Augen 215.
 —, Quarzglas, Herstellung und Eigenschaften 266. 283.
 —, Schmelzen von Quarz und Ofen hierzu 299.
 —, Verarbeiten von Quarzglas 300 302.
 —, Widerstandspyrometer aus Quarzglas 317.
 —, Quarzglas - Quecksilberdampflampe 323.
 Hering, Wärmeverluste durch die Ofenwandungen 50.
 —, Elektrischer Widerstand von Magnesia usw. 156.
 Herschkowitsch, Quarzglas 266 289 290.
 Hewitt, Quecksilberlichtbogenlampe 320.
 Heynemann, Undurchlässigkeit des Glases für Joddämpfe 342.
 Heydweiller, Elektrolyse des Glases 342.

- Higgins, Elektrischer Schachtofen 140.
Hirsch, Flüchtigkeit feuerfester Oxyde 48.
Hirsch, Kohlengriß-Lichtbogenofen 99.
Hitner, Hitzdraht zum Absprengen von Glaswalzen 260.
Hoffmann, Segerkegel 335
Hofmann, Schmelzbarkeit von kalziumsulfathaltigen Gemischen 337.
Holborn, Optisches Pyrometer 63.
—, Schmelzpunkt des Platins 32.
—, Wärmeausdehnung des Quarzglas 289.
Hollings, Ausfütterung mit Siloxikon 181.
Horry, Rotierender elektrischer Ofen 139.
Hovestadt, Jenaer Glas 208.
Huffmann, Beschickung der Karborundöfen 166.
Hutton, Kohlenrohröfen 106
—, Erhitzen unter Druck 109
—, Schmelzen von Quarz und Sand 281. 305.
Iklé, Über optische Pyrometer 65.
Inwald, Phosphorsaure im Glas 210.
Jacobs, Kunstlicher Korund (Alundum) 139.
—, Entsilizieren von Tonen 188.
Jaquero, Durchlässigkeit des Quarzglas für Helium 316.
Jochum, Schmelzpunkte von Tonen 45.
—, Druckfestigkeit keramischer Produkte 76.
Jurisch, Tonerdefabrikation 132.
alähne, Elektrische Widerstandsöfen 66.
Keppeler und Spangenberg, Erhöhung der Plastizität der Tone 21.
— —, Gießfähigkeit keramischer Massen 148.
Keßmeier, Heizbares Abstichloch bei Öfen 259.
Kleiner, Versuche mit Kohlengrißöfen 246
Koechlin, Kalzinierofen 112.
Koerner, Vermehrung der Plastizität der Tone 21.
Kirchner, Zustandekommen der Glasfärbung 220.
Kohlmeier, Schmelztemperaturen der Eisenoxyde 337.
Kopfermann, Elektrolyse des Glases 342.
Kosmann, Feuerbeständigkeit der Tone 35
Kowalsky, von, Biegungsfestigkeit des Glases 294.
Kromeyer, Quarzglasquecksilberlampe für Heilzwecke 329.
Krafft, Quarzglas und Metalldestillation 286.
Krüger, Quarzglas thermometer 289.
Kuch, siehe auch Heraeus, Quarzglas und Metaldämpfe 286.
—, Hohlgefäße aus Quarzglas 300.
—, Thermometerkugeln aus Quarzglas 302.
—, Quarzglasquecksilberdampflampe 323.
—, Spektren der Quarzamalgalampe 331.
Kühn, Quarzglasverarbeitung 283. 285. 293. 318.
Kuhne, Schwefelsäureerzeugung bei ultravioletter Bestrahlung 340.
Kurlbaum, Optisches Pyrometer 63.
Lacell, Herstellung und Verarbeitung von Quarzglas 271. 283.
Lampen, Karborund 163.
Le Blanc, Nickeldraht als Heizwiderstand 337.
Le Chatelier, Pyrometer 60.
— —, Wärmeausdehnung des Quarzglas und einiger Silikate 270. 278.
Lecrenier, Härte des Glases 211.
—, Für Wärmestrahlen undurchlässiges Glas 211
—, Farbige Gläser 218
Levy, Quarzglasgeräte für Analyse 314.
Le Roy, Elektrischer Kalksteinofen 114.

- Loeser, Nachprüfung der Segerkegel 34.
 —, Versuche mit Diamantin 150.
 Ludwig, Devillescher Ofen 59.
 Lühne, Elektrischer Glasschmelzofen 224.
 Lürmann, Druckfestigkeit der Schamottesteine 76.
- ailey, Elektrische Leitfähigkeit des Porzellans 155.
 Marquardt, Erweiterung der Seger-skala 32.
 —, Devillescher Gebläseofen 58.
 —, Hochfeuerfeste („Marquardtsche“) Masse 66.
 —, Kohlengrießöfen 79. 89.
 Mathesius, Kalk - Tonerde - Kieselreihe 42
 —, Kohlengrießofen 98.
 Mehner, Schmelzen von Quarzglas 304.
 Meiser, Elektrischer Ringofen 123.
 Mesuré, Optisches Pyrometer 61.
 Mellor, Schamotte bei wiederholtem Erhitzen 49
 —, Verschleiß der Quarzglasrohre 317.
 Meyser, Quarzglas und Lösungsmittel 313.
 Michalke, Versuche mit Kohlengrießöfen 245
 Mills, Ofen zum Schmelzen von Bauxit 137.
 Mitchell, Elektrischer Tiegel und Muffelofen zum Brennen 116.
 Moissan, Quarz im elektrischen Lichtbogenofen 162.
 —, Zirkoniumkarbid 158.
 Moldenhauer, Tonerde und Karborund 338.
 Mostowich, Schmelzbarkeit von kalziumsulfathaltigen Gemischen 337.
 Muller & Co., Karborundmassen für feuerfeste Steine 171.
 —, Mit Karborund umhüllte Steine 172.
 —, Karborundzement 174.
- Mylius, Klassifikation und Prüfung der Glasarten 216.
 —, Quarzglas und Phosphorsäure 286.
 —, Quarzglas und Lösungsmittel 313.
- Nernst, Schmelzpunkt von Platin 33.
 —, Iridiumofen 73.
 —, Ofen aus Nernstmasse 107.
 —, Elektrische Leitfähigkeit einiger Erden 158.
 —, Nickeldraht als Heizwiderstand 338.
 Niles, Heizbarer Poliertisch für Spiegelglas 259.
 Norton emery Wheel Co., Alundum 139.
 Nouel, Optisches Pyrometer 61.
- Olway, Glasfärbung bei Belichtung 342.
 Otto, feuerfeste Steine für Koksöfen 129.
 Owen, Flaschenglasmaschine 200.
- Paget, Schmelzen und Verarbeiten von Quarzglas 305.
 —, Metalleinfassungen für Quarzglas 312.
 Parmelee, Wirkung der Phosphorsäure 40.
 Patterson, Kohlenrohröfen 106.
 Pelikan, Kristalle in der Bauxitschmelze 135.
 Peniakoff, Aluminatbildung 202.
 Perrot, Durchlässigkeit des Quarzglases für Helium 316.
 —, Glasöfen 57.
 Petavel, Erhitzung unter hohem Druck 109.
 Piranni, von, Kohlenrohröfen 106.
 Philippi, Kalkkieselsäurereihe 38.
 Phillips, Elektrisch leitendes Glas 212.
 Plenske, Natur des Porzellans 51.
 Polak, Temperatur in der Quecksilberlichtbogenlampe 321.
 Pompili, Elektrolyse des Wassers 262.
 —, Knallgasöfen für Glas 263.

Porzellanmanufaktur, Königl (Berlin),
Gerätschaften aus Magnesia 151.
Poschinger, von, Elektrisches Brennen
von Tonwaren 116.
Potter, Kohlenrohrofen 106
—, Karbosilizium 177.
—, Monox 181.
Prometheus, G. m. b. H., Heizwider-
stände aus Silund 176.
Pufahl, Seltene Erden 157.

Quarzlampen - Gesellschaft, Quarz-
glasquecksilberdampfampe 327.
Quincke, Schwefelsäurebildung bei
Uviollicht 340.

Raddatz, Lichtbogenvorrichtung für
Anschmelzzwecke 186.
Rasch, Flammbögen zwischen Leitern
zweiter Klasse 18.
Reich, Temperatur der Kohlenspitzen
im Lichtbogen 17.
Reich & Co., Glasschmelzvorrichtung
222.
Retschinski, Quarzglasquecksilber-
dampfampe 323.
Reynolds, Elektrische Leitfähigkeit
einiger Erden 158.
Richards, Karborund 165. 168.
Richarz, Widerstandsfähigkeit gegen
Temperaturwechsel beim Quarz-
glas 293.
Richters, Beziehungen zwischen Zu-
sammensetzung und Feuerfestig-
keit der Tone 35.
—, Devillescher Gebläseofen 59.
Riedel, Lichtbrechung des Quarz-
glases 292.
Rief, Elektrolyse des Porzellans 55.
Rieke, Kalk-Kieselsäure-Reihe 37.
—, Kaolin und Kalk, Magnesit, Quarz
40.
—, Einfluß der Titansäure 41.
—, Kalk-Tonerde-Kieselreihe 41.
—, Glimmer und Kaolin, Quarz, Ton-
erde 45.
—, Kohlengrießöfen der Chem.-
Techn. Versuchsanstalt 89.
—, Zirkonerdegefäße 158.
Roberts, Elektrischer Brennofen 124.

Rohland, Plastizität der Tone 21.
Rosenthal & Co., Elektrotechnisches
Porzellan 51.
Rothe, Schmelztemperatur der Seger-
kegel 34.
Ruhstrat, Gegenstände aus geschmol-
zenen Oxyden 191.
Ruß, Erhöhte Reagierfähigkeit in
Quarzglasgefäßen 318

Sackur, Für aktinisches Licht un-
durchlässiges Glas 215
Sauvageon, Elektrischer Glasschmelz-
ofen 251.
Schanz, Für ultraviolette Strahlen
undurchlässiges Glas (Euphosglas)
214.
Scheel, Warmausdehnung des
Quarzglases 289.
Schoen, Quarzglasrohre 342.
Schoop, Elektrolyse des Wassers 262.
—, Zusammenloten von Glas 264.
Schott, Optisches Glas 204.
—, Verlangsamte Kühlung von Glas
207.
—, Uviolglas 214.
—, Quarzglas 290.
Schroers, Elektrische Glasschmel-
zerei 244.
Schuller, Quarzglas und Metall-
destillation 286.
Schulze, Konstanten des Quarzglases
293.
Schumann, Uviolglas 214.
—, Lichtdurchlässigkeit des Quarz-
glases 293.
Scott, Einteilung der feuerfesten
Rohprodukte 183.
Seaboldt, Verarbeitung von Siloxikon
180.
Seemen, von, Magnesia - Quarz-
schmelzen 153.
Seger, Messung hoher Temperaturen
25.
—, Normalkegel („Segerkegel“) 26.
—, Beziehungen zwischen Feuer-
festigkeit und Zusammensetzung
der Tone 35.
—, Tonerde-Kieselsäure-Reihe 36

Seger, Gasofen und Gebläseofen 57
 Shade, Elektrischer Glasschmelzofen 247.
 Shenstone, Herstellung und Verarbeitung von Quarzglas 271.
 —, Quarzglas für optische Zwecke 276.
 —, Ansichten über Sandglas 280.
 Shepherd, Kalk-Kieselreihe 38.
 —, Schmelztemperatur der Kieselsäure 294.
 —, Blasenfreies Quarzglas 296.
 Siebert, Verarbeitung von Quarzglas 283. 285 293. 318.
 Siedentopf, Ultraviolettmikroskop 220.
 Siemens, Widerstandspyrometer 26. 317.
 Sievert, Verarbeitung des Glases 200.
 Simonis, Verflüssigung der Tone 23.
 —, Segerkegel 28.
 —, Kaolin und Chromit 41.
 —, — — Feldspat, Quarz 45.
 —, Flüchtigkeit feuerfester Oxyde 48.
 —, Wärmeleitfähigkeit von Schamotte-waren 50.
 — Kohlengießofen der Chem.-Tech. Versuchsanstalt 89.
 —, Lichtbogenofen 100.
 —, Zirkonoxydofen 102.
 —, Feuerfestes Material für Versuchsofen 182.
 Solomon, Elektrischer Ofen aus Nernstmasse 108.
 Spangenberg, Erhöhung der Plastizität der Tone 21.
 —, Gießfähigkeit keramischer Massen 148.
 Spaeter, Veitscher Magnesit 130
 Specketer, Elektroden aus geschmolzenem Eisenoxyd 194.
 Spring, Zustandekommen der Glasfärbung 220.
 Stein, Schmelzpunkte von Silikaten 47.
 Steinmetz, Elektrischer Ofen 159.
 Stock, Undurchlässigkeit des Glases für Joddämpfe 342.

Stockhausen, Für ultraviolette Strahlen undurchlässiges Glas („Euphosglas“) 214.
 Stocke, Quarzglas 276.
 Talbot, Karborundausfütterung für Ofen 174.
 Tatlock und Baird, Quarzglas 276. 283.
 Tegetmeyer, Elektrolyse des Glases 342.
 Thermit-Gesellschaft, Gerätschaften aus geschmolzener und gegossener Tonerde 190.
 Theusner, Kalk-Tonerde-Kieselsäure-Reihe 43. 336
 Thiele, Verlauf von Reaktionen in Quarzglasgefäßen 330.
 Thomson, Gegenstände aus geschmolzenen Oxyden 192.
 Threlfall, Versuche, Magnesit zu schmelzen 283.
 Tiffany, Irisierende Gläser 220.
 Tone, Karborundofen 165
 —, Verarbeitung der „Weißmasse“ 180.
 —, Gewinnung und Reinigung von Tonerde usw 338.
 Tonindustrie - Laboratorium, siehe Chemisches Laboratorium Cramer, Hecht, Hirsch
 Trommsdorf, Lichtdispersion des Quarzglases 293
 Trowbridge, Elektrische Entladungen in Quarzglasrohren 318.
 Tschirnhausen, von, Schmelzen mittels Brennspiegel 304
 Tucker, Kohlenrohröfen 107.
 —, Karborund 163.
 —, Borkarbid 177.
 Turner, Geschmolzener Magnesit 151.
 Urbas, Erweichungstemperaturen von Mineralgemischen 46.
 Valentiner, Schmelzpunkt von Platin 33.
 Villard, Gasdurchlässigkeit des Quarzglases 287.

- Violle, Schmelzpunkt von Platin 32.
Voegel, Einfluß der ultravioletten Strahlen auf das Auge 215.
—, Schutzgläser 341.
Voelker, Elektr. Glasschmelzöfen 226.
—, Quarzglas 315.
Vogel, Elektrischer Schmelzofen für Quarzglas 300.
Vogt, Porzellan 51
—, Elektrolyse des Porzellans 55.
- Waidner, Temperaturen im Lichtbogen 65.
Walls, siehe Watts
Wanner, Optisches Pyrometer 62.
Warburg, Elektrolyse des Glases 342.
Wartenberg, von, Schmelzpunkt von Platin 33.
—, — — Wolfram 109.
Watts, Elektrotechnisches Porzellan 52. 342.
Weber, Gießen von Tonwaren 23. 175. 199.
—, Gewinnung von Karborund und Tonerde 169. 338.
Wedekind, Versuche mit Gerätschaften aus Magnesia 151.
Wernicke, Druckfestigkeit der Schamottesteine 76.
White, Kalk-Kieselreihe 38.
—, Elektrische Heizvorrichtungen 76
—, Schmelztemperatur der Kieselsäure 294.
Wichmann, Quarzglasquecksilberlampe für Heilzwecke 329
Wiesnegg, Gasofen für Versuchszwecke 57.
- Wilkens, Benennung keramischer Erzeugnisse 23.
Wills, Temperatur in der Quecksilberlichtbogenlampe 321.
Winkelmann, Wärmeleitung des Glases 209.
Winkler, Oxydationsstufen des Siliciums 181.
Wologdine, Wärmeleitungsvermögen keramischer Produkte 49. 337.
Wright, Kalk-Kieselreihe 38
—, Elektrische Heizvorrichtungen 76
—, Schmelztemperatur der Kieselsäure 294.
Wynter-Blyth, Lichtdurchlässigkeit des Quarzglases 275.
- Zeiß-Stiftung, siehe Abbe, Hahn, Herschkowitsch, Schott, Siedentopf, Zschimmer.
Zenghelis, Gasdurchlässigkeit des Glases 342.
Zoellner, Natur des Porzellans 51.
Zschimmer, Mannigfaltigkeit optischer Glasarten 206.
—, Beziehungen zwischen chemischer Zusammensetzung und physikalischen Eigenschaften des Glases 208.
—, Hygroskopizität des Glases 212
—, Uviolglas 214.
—, Einfluß ultravioletter Strahlen auf die Augen 215.
—, Jenaer Glaswerke 340.
Zsigmondy, Für Wärmestrahlen undurchlässiges Glas 211.
—, Zustandekommen der Glasfärbung 220.

Schr i t r.

Abschrecken des Quarzes 272.
 Absprengvorrichtung, elektrische 260
 Albit 46.
 Alkalien in keramischen Massen 48
 335.
 Aloxit 338.
 Aluminate 41. 132 201. 336.
 Aluminium 14. 339.
 Aluminiumoxyd, siehe Tonerde.
 Alundum 139.
 Analyse, rationelle 35.
 Anorthit 46. 47.
 Anschluß elektrischer Apparate 7.
 Anthrazit, Heizwert 13
 Arsenoxyde im Glas 209. 218.
 Augenschutz 82. 214. 341.
 Augit 268.

 ariumoxyd im Glase 209.
 Bariumsilikat 47.
 Basische feuerfeste Produkte 128.
 131.
 Bauxit 50. 130. 131. 132. 133. 137. 138.
 Bergkristall 163. 271. 275. 278. 280.
 282. 291. 295. 342.
 Berliner Porzellan 49. 55. 56. 73. 156.
 Berylliumsilikat 47.
 Bindemittel 182.
 Blasdorfer Schiefertone 46.
 Blei 14. 286. 339.
 Bleioxyd im Glase 208. 209.
 Borkarbid 175. 177.
 Borsäure 182. 208. 209. 211.
 Braunkohle 13. 14.
 Braunstein 218.
 Brennmuffel, elektrische 5. 96. 116.
 125.

Brennofen, elektrischer 111. 116. 118.
 Brennstoffe 13.
 Brikettierung des Glassatzes 237.

Ceroxyd 157.
 Chrom 14. 339.
 Chromeisenstein (Chromit) 41. 50.
 182
 Cyanitfaden 268.

Deville'scher Ofen 57
 Diamantin 149.
 Dinassteine 50. 128 161
 Doppelsilikate 35.
 Dreiachsige Kurven 42.
 Druckfestigkeitsveränderung 76.
 Dynamidon 151

Edelsteine, Schmelzöfen 160.
 Eisen 14 339.
 — in der Quarzglasschmelze 280. 315.
 Eisenoxyd, Einfluß auf Feuerfestig-
 keit 35. 337
 —, geschmolzenes 157. 194 337
 — im Glase 218.
 Eisenoxydulhaltiges Glas 211.
 Eisensilikat 47.
 Eisensilicid 338.
 Elektrizität 140.
 Elektrodenschutz gegen Abbrand
 233
 Elektrolyse des Glases 342
 — — Porzellans 55.
 — — Wassers 18. 262.
 Elektromagnet, siehe Magnet.
 Emailschmelzerei, elektrische 258.
 Entfärbungsmittel für Glas 217.
 Entglasung 201 291. 295.

Erden, elektrische Leitfähigkeit 1. 15.
—, seltene 48. 157.
Euphosphat 214. 341.

Fäden aus Mineralien 268.
Faulen der Tone 21.
Feldspat 27. 45. 46. 268.
Feuerfestigkeit der Tone 22. 34. 188.
Flambogen, siehe Lichtbogen.
Flamme, Temperaturen derselben 13.
Flüchtigkeit feuerfester Oxyde 48. 338.
Fluorit 276.
Flußmittel 35
Flußspatfäden 268.
Franklinit 187.

Gasdurchlässigkeit des Glases 217.
342.

— — Quarzglas 287. 315. 316.

Gasofen 57.

Gebläseofen 57.

Geißlersche Röhren für Erhitzung
109.

Gerbstoffzusatz zu Tonen 21. 179.

Gichtgas, Heizeffekt 13.

Gießen von Tonwaren 22. 148. 175.
199. 335.

Gipsfen, elektrischer 112.

Glas, Allgemeines 196. 208. 340.

—, Belichtung 218. 342.

—, Biegunsfähigkeit 294.

—, Bildung 201.

—, Chemische Natur 200. 208. 220.

—, Dichte 209. 210.

—, Druckfestigkeit 209.

—, Durchlässigkeit für Gase 217. 342.

—, — — Strahlen 211. 214. 215. 341.

—, Elastizität 293.

—, Elektrische Leitfähigkeit 1. 15.
197. 212.

—, Elektrolyse 342.

—, Entfärbung 217.

—, Erstarrungstemperatur 207.

—, farbiges 219.

—, Härte 209. 211.

—, Hygroskopizität 212.

—, Klassifikation 216.

—, Kühlung 207.

—, Lichtbrechung 207. 209.

Glas, Lösungsvermögen 201

—, optisches 204. 208.

—, Spezifische Wärme 209.

—, Wärmeausdehnung, -Leitfähig-
keit 209.

—, Zugfestigkeit 209.

Glasfäden 268.

Glasgalle 201. 202

Glashafen 199.

Glassatz 201. 227. 231. 234.

Glasschmelzofen von Becker 223.
225. 250.

— — Benjamin 249.

— — Birkeland und Eyde 253.

— — Bronn 237.

— — Eddy 258.

— — Franklin 251.

— — Gabreau 257.

— — Girod 258.

— — Lühne 224.

— — Reich 222.

— — Sauvageon 251.

— — Shade 247.

— — Voelker 226

Glasur auf feuerfesten Gegenständen
185. 186.

Glimmer 45.

Gluhlampe 4. 322.

Gluhlampenfasern 121.

Gold 14. 286. 339.

Gold im Glase 219.

Graphit 161. 233.

— als Heizwiderstand 107. 117. 247.
258

Grünstädter Tone 46.

Halbquarzglas, siehe Sandglas.

Heizwert 11. 13.

Heizwiderstände aus Borkarbid 177.

— — Graphit 107. 117. 247. 258.

— — Karborund 177.

— — Kohlengrieß 82. 118. 242. 247.
312.

— — Kohlenrohren, Stäben u. dergl.

70 107. 190. 192. 193. 242. 306.

— — Metallen 67. 73. 77. 337.

— — Silund 175. 339.

— — Zirkonoxyd 107. 300.

Helium 316.

Hochofenschlacke 43. 336.

Hochspannungsöfen 253.

Holz 1. 13.

Hornblendefäden 268.

Induktionsöfen 18.

Iridium 14.

Iridiumöfen 73. 79. 283. 299

Isolationsvermögen, elektrisches 1.
51. 52. 268.

Jodsilber, Verhalten beim Schmelzen
314.

ährlicher Ton 76.

Kaliumoxyd, Einfluß auf Feuerfestig-
keit 35.

— im Glase 209. 211.

Kalk, Eigenschaften 15. 38. 73.

—, Einfluß auf die Feuerfestigkeit 35.

—, Flüchtigkeit 48.

—-Kaolinreihe 40.

—-Kieselreihe 37. 38.

—-Kiesel-Tonerdereihe 41. 336.

— im Glase 209.

Kalkofen, elektrische 112. 114 116

Kalorie 11

Kalorimeter 26.

Kalziumferrit 337.

Kalziumsulfat 337.

Kaolin 21. 27. 46. 76.

—, Entsilizierung 188.

— und Chromit 41.

— — Kalk 40.

—, Quarz und Feldspat 45.

Karborund, Eigenschaften 50 163
168. 171. 174.

—, Herstellung 164. 169. 170. 338.

— für Kohlengrießöfen 93.

—, Verarbeitung 170. 177. 182. 186.

Karbosilizium 177.

Kieselphosphorsäure 286.

Kieselsäure, Einfluß auf die Feuer-
festigkeit 35.

—, Flüchtigkeit 48. 163. 338.

— im elektrischen Ofen 162. 294.

— — Glase 209.

—-Kalkreihe 37.

—-Kalk-Tonerdereihe 41. 336.

Kieselsäure-Kaolin-Feldspatreihe 45.

—-Tonerdereihe 36

—, siehe Quarz

Kilowattstunde 11.

Knallgas 18. 262.

Knochenasche, Schmelztemperatur
73.

Kohle, elektrische Leitfähigkeit 14. 15.

Kohlenfaden, Brennen 121.

Kohlengrieß („Kryptol“), Eigen-
schaften 80 82 118 242. 247. 312.

Kohlengrießheizung, Entstehung 242

Kohlengrießöfen 79. 87. 120 243 246

Kohlengrießwiderstand 245.

Kohlenrohröfen 106. 190 192. 306.

Kohlenstäbe als Heizwiderstand 70.
242

Korund, Eigenschaften und Her-
stellung 49. 131. 189.

—, Verarbeitung 141.

—, siehe Tonerde, geschmolzene.

Korundhaltiges Porzellan 148

Kryptolheizung, Entstehung (siehe
Kohlengrieß) 243.

Kühlofen, elektrischer 122.

Kupfer 14. 286 339.

Kupferhaltiges Glas 219.

Kupferoxyd und Quarzglas 280 314.

Labradorit 46.

Lampen, Stromverbrauch elek-
trischer 322. 324

Lanthanoxyd 157. 300.

Leinoltrocknung bei Uviollicht 340.

Leuchtgas, Heizwert 13.

Lichtbogentemperatur 16. 65. 321. 325.

Lichtbogenöfen, siehe Öfen

Lichtbrücke in der Glasschmelze 234

Lichtdurchlässigkeit 214. 275. 334.

Lithiumoxyd in Glasschmelzen 271.

agerungsmittel 130. 161.

Magnesia 131.

—, geschmolzene 93. 151. 154. 191.

—, Dichte 155

—, Einfluß auf die Feuerfestigkeit 35.

—, Flüchtigkeit 48.

—, elektrische Leitfähigkeit 156 158.

—, Schmelztemperatur 73

Magnesia in der Glasmasse 209.
 —-Kaolinreihe 40.
 —-Quarzmasse 153.
 —-Tonerdemasse 152.
 Magnesit 73. 130.
 —, geschmolzener 151. 283.
 Magnesiumferrit 337.
 Magnesiumsilikat 47.
 Magnetische Beeinflussung des Licht-
 bogens 193. 237.
 Mährischer Schieferton 46.
 Manganhaltiges Glas 218.
 Mangansilikat 47.
 Marmor, karrarischer 27.
 Marquardtsche Masse 66 68
 Meißener Porzellan 56. 73. 156.
 Messung elektrischer Arbeit 11.
 — hoher Temperaturen 25. 60. 317.
 Metalle, Schmelztemperaturen 14.
 —, Siedetemperaturen 286. 339.
 — im Glase 220.
 Metalleinfassung für Quarzglas 312.
 Monox 181.
 Muskovit 45.
 Naphtha, Heizwert 13.
 Natriumaluminat 132.
 Natriumoxyd im Glase 209. 211.
 Natriumsulfat im Glase 202.
 Nernstlampe 16. 322.
 Nickel 14. 109.
 — bei der Glaserzeugung 218.
 Nickeldraht als Heizwiderstand 66.
 337.
 Normalkegel, siehe Segerkegel 25.
 Normaltone 36.
 Nullpunkt bei Transformatoren 80
 Öfen, elektrische, mit Flammbogen-
 heizung 71. 100. 169. 186. 193.
 223—227. 230. 235—238. 248—250.
 253. 254. 257. 260. 282. 304.
 —, — — Iridium als Heizwiderstand
 73. 79.
 —, —, — Kohlengrieß- (Kryptol-)
 Widerstand 79. 87. 89. 90. 94. 95.
 97. 98. 99. 102. 105. 120. 243. 246.
 256. 311. 312.
 —, —, — Kohlenrohren und -Stäben
 70. 106. 191. 192. 242. 306—309.

Öfen, elektrische, mit Metalloxyden
 (Erden) 107. 160. 300.
 —, —, — Nickel 67. 337.
 —, —, — Platin 67. 222.
 — mit Knallgasheizung 263. 264.
 Ohm 6.
 Oligoklas 46.
 Olivin 47.
 Orthoklas 47.
 Osmium 14.
 Ozonbildung beim Quarzschmelzen
 288.
 Perlen, künstliche 267.
 Pfalzer Tone 46.
 Phosphorsaure im Glase 209. 210.
 — in keramischen Massen 40.
 — und Quarzglas 286.
 Plastizität 20.
 Platin 14. 32. 73. 109.
 — als Heizwiderstand 67.
 Poliertisch für Glas 259.
 Porosität feuerfester Produkte 50.
 Porzellan 24. 73. 155.
 —, elektrische Eigenschaften 51. 53
 55 155.
 —, korundhaltiges 148.
 Porzellanerde, siehe Kaolin 21.
 Porzellanmasse 22.
 Pyrometer 25. 60. 317.
 Quarz, siehe Bergkristall und Kiesel-
 säure 27. 130. 161.
 — beim Erhitzen 272. 280. 282. 294.
 299.
 —-Feldspat-Kaolinreihe 45.
 Quarzfäden 268. 279.
 Quarzglas (Halbquarzglas, Sandglas,
 Quarzgut).
 — von Boys 268.
 — — Day und Shepherd 296.
 — — Dufour 269.
 — — Gaudin 266.
 — — Gautier 268.
 — — Heraeus 283.
 — — Herschkowitsch (Abbe-Schott)
 289.
 — — Shenstone 274.
 —, Biegungsfähigkeit 294.

Quarzglas, Dichte 275 291.
 —, Dielektrizitätskonstante 294.
 —, Elastizität 292. 293.
 —, Entglasung 286. 291. 295 300
 —, Gasdurchlässigkeit 279 287. 316.
 —, Harte 275. 292.
 —, Hygroskopizität 269.
 —, Isolationsvermögen 268. 275.
 —, Lichtbrechung 292 294.
 —, Lichtdurchlässigkeit 275 292.
 —, Verarbeitung 286. 295. 300 318.
 —, Wärmeausdehnung 270. 278.
 — und Lithiumoxyd 271
 — — Metaldämpfe 286
 — — Metalloxyde 283.
 — — Phosphorsäure 286.
 — für chemischen Gebrauch 216.
 313. 318 330.
 — — Thermometrie 269. 289. 302.
 317. 342.
 — in Metalleinfassungen 312.
 Quarzglaslampen 323. 326. 327. 329.
 331.
 Quarzgut, siehe Sandglas.
 Quecksilberdampflampe 320.

 Rakonitzer Schieferton 46. 76
 Rationelle Analyse 35.
 Reaktionsfähigkeit in Quarzglas-
 gefäßen 318. 330.
 Rhodium 14.
 Ringofen, elektrischer 120. 123
 Rotzinkerz 187.
 Rubinfaden 268.

 Saarauer Blauton 46. 76.
 Saarkohlenschiefer 46.
 Salpeter bei Glaserzeugung 218.
 Sand, Schmelzen 280
 Sandglas 93. 281. 302. 305. 315.
 Saphirfäden 268.
 Sauerstofferzeugung 262.
 Saure keramische Massen 128. 161. 278.
 Schamotte, siehe Tonwaren 127. 130.
 Schiefertone 46.
 Schmirgel 131. 136. 151.
 Schutzgläser 82. 214. 341.
 Schwefelsäurebildung bei Uviollicht
 340.

Segerkegel 26 32 34. 81. 101. 330.
 Seltene Erden 48 157.
 Silber 14. 286 339.
 Silberhaltiges Glas 215.
 Silikate 47
 Silizium 163.
 Siliziumdioxyd, siehe Kieselsäure,
 Quarz, Sand.
 Siliziumkarbid, siehe Karborund 163.
 169 174. 177 338.
 Sillimanit 51.
 Siloxikon 178. 180.
 Silund 175. 339.
 Spektrumaufnahmen 214. 275. 331.
 Steinkohle, Heizwert 13.
 Stickstoffoxyde beim Quarzschmel-
 zen 287.
 Strontiumsilikat 47

 Tannin und Plastizität 21.
 Tantal 14.
 Temperatur der Flammen 13.
 Thermit 19. 189.
 Thoroxyd 299. 300.
 Tiegelöfen 57. 58. 69. 70. 73. 77. 88.
 91 — 103. 105. 108. 117. 119. 257.
 258. 263 300
 Titansäure 41. 48.
 Tone 20 34
 Tonerde, Einfluß auf Feuerfestigkeit
 35. 48. 75. 131
 Tonerdeerzeugung 132 138. 169.
 Tonerde, geschmolzene (siehe Alloxit,
 Alundum, Elektrit und Korund)
 133. 189. 338.
 — im Glase 201. 209.
 —-Kalk-Kieselreihe 41. 336.
 —-Kieselreihe 36.
 Tonsubstanz 21.
 Tonwaren (siehe Gießen von Ton-
 waren) 22. 49.
 Tridymit 295.

 Überzüge, feuerfeste 129.
 Uviolglas 214. 341.
 Uviollampe 214. 340.

 Veitscher Magnesit, Schmelzpunkt 73.
 Verbrennungswärme 13.

- Versatzmittel (siehe Magerungsmittel) 130.
Vorschaltwiderstand 6. 9 245
Walzvorrückung für Spiegelglas 259.
Wannenofen 197. 263.
Wärmeberechnung 11. 12. 13
Wärmeleitung 49. 198. 337
Wasserstoff, Heizwert 13.
Wasserzersetzung 262.
Weißmasse (White Stuff) 166. 180
Wiederholte Erhitzung, Einfluß 49 75
Widerstandspyrometer 26. 317
- Yttriumoxyd 157. 158.
Zementöfen, elektrische 112. 115.
Zettlitzer Kaolin 27. 46.
Zink 14. 170 171. 286
Zinkoxyd im Glase 209.
Zinksilikat 47.
Zinn 14 286. 339.
Zinnstein 187.
Zirkonoxyd 48. 103. 157. 158. 264.
Zusammenlöten von Glasplatten 259.
264.